Departamento Regional de São Paulo

Materiais

Escola SENAI""

MÓDULOS ESPECIAIS

MECÂNICA

Introdução

Esta é a primeira aula do seu curso sobre materiais para a indústria mecânica. E sabe por onde vamos começar? Pelo começo, naturalmente! E onde está esse "começo"? Está no próprio material, em uma coisinha bem pequenininha chamada átomo.

O átomo, que não dá para a gente ver nem com um microscópio, determina se o material é aço, plástico, madeira ou ar. Estabelece a maneira como cada material se comporta na natureza e também como ele "funciona" diante dos processos de fabricação e da utilização do dia-a-dia.

O conhecimento dos fatores que governam as propriedades dos materiais é importante para o profissional da indústria metalmecânica, cuja função é produzir materiais e peças com propriedades que atendam às mais diversas aplicações e solicitações de uso.

Esses fatores estão relacionados com a estrutura geral do átomo que, no final, diferencia um material do outro. Sabendo isso, é possível prever o que vai acontecer quando um material é aquecido, resfriado, dobrado, esticado, torcido, lixado, cortado. Ou seja, tudo o que você faz quando quer fabricar qualquer coisa.

O assunto é fascinante. Parece até mágica, mas não é. São apenas algumas leis da Química e da Física, trabalhando para a gente. Fique ligado.

Um pouco de história e um pouco de química

Uma das coisas que torna o homem diferente dos outros animais que vivem em nosso planeta é sua inteligência. E essa inteligência gerou o inconformismo por não entender como as coisas "funcionam" no universo. Por isso, desde muito cedo, ele começou a pensar e fazer hipóteses sobre esse funcionamento, já que não tinha instrumentos para comprovar suas teorias. A coisa mais fascinante de tudo isso é que, muitas vezes, o homem acertou.

Uma das hipóteses mais importantes que esse passado nos deixou, foi aquela feita por um grego chamado Demócrito. Ele sugeriu que toda a matéria é composta de pequenas partículas que ele chamou de átomos. Essa palavra grega quer dizer "indivisível" e ele a usou porque achava que o átomo era tão pequeno que não podia mesmo ser dividido.

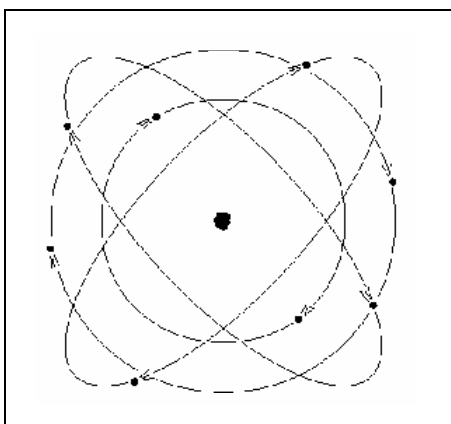
Fique por dentro
Quando o átomo é dividido em partículas, ele libera grande quantidade de energia. Foi esse conhecimento que permitiu a criação da bomba atômica, cuja explosão é resultado de uma divisão do átomo.

Hoje sabemos que os átomos são formados de várias partículas ainda menores. Porém, esse conceito de indivisibilidade, vindo da antigüidade grega, ainda é válido e se transformou na base da Química moderna. E isso levou um bocado de tempo, porque foi só em 1808 que o químico inglês, John Dalton, estabeleceu sua Teoria Atômica. Em 1868, o russo Demitir Mendeleiev elaborou a primeira classificação geral dos elementos. Esse trabalho deu origem à tabela periódica que hoje conhecemos. Ele permitiu prever as propriedades e descobrir elementos que Demitir e cientistas de sua época ainda não conheciam.

Fique por dentro
A tabela periódica reúne, em grupos, elementos que têm propriedades químicas e físicas (mecânicas, magnéticas e elétricas) semelhantes.

Conhecer as leis que comandam essas partículas permite, pois, explicar porque alguns materiais são mais resistentes ou mais frágeis que outros.

E o que você precisa saber sobre isso? Em primeiro lugar, que tudo o que existe é composto de átomos. E que os átomos são formados de várias partículas e que aquelas que mais nos interessam são os prótons, os elétrons e os neutros.

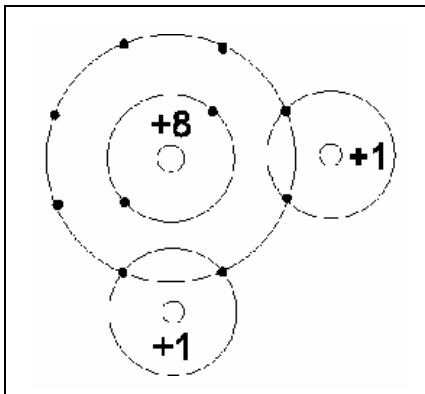
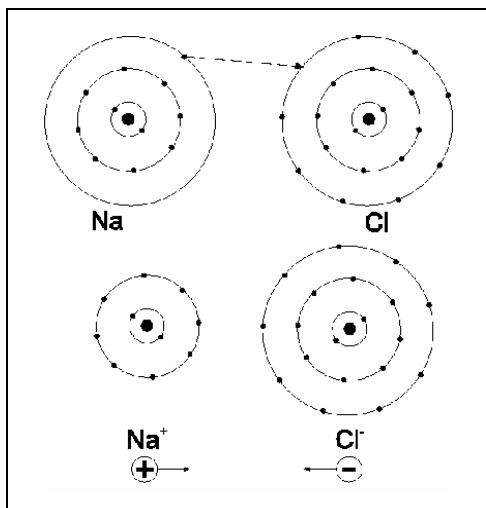
A teoria diz que no átomo existe um núcleo formado pelos prótons e pelos neutros. Por convenção, os prótons são partículas com cargas positivas, e os neutros, partículas estáveis que têm pouca influência sobre as propriedades físicas e químicas mais comuns dos elementos. Os elétrons, carregados negativamente, giram em órbitas em volta desse núcleo.

De acordo com esse modelo, as órbitas são arrumadas em até sete camadas, das quais a última é chamada de camada de valência. Para que um átomo seja estável, ele deve ter 8 elétrons nessa camada.

Fique por dentro

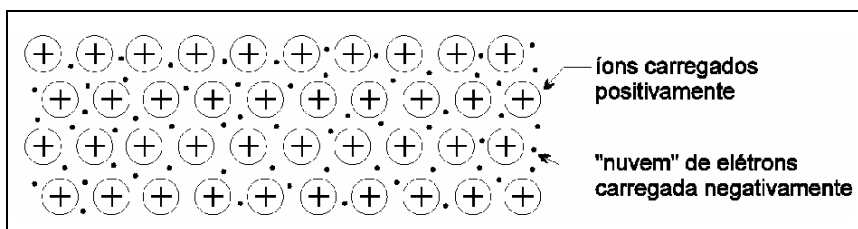
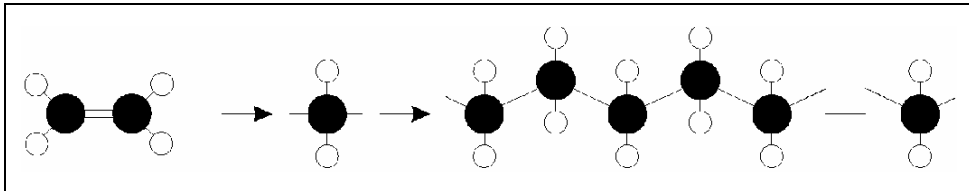
O hélio tem apenas dois elétrons em sua camada de valência.

Acontece que somente poucos átomos, os dos chamados gases nobres (hélio, neônio, argônio, criptônio, xenônio e radônio), são estáveis. Isso significa que todos os outros átomos, para se tornarem estáveis, combinam-se entre si, cedendo, recebendo ou

compartilhando elétrons, até que a última camada de cada um fique com oito elétrons. É dessas combinações que surgem todos os materiais que conhecemos.

Quando os átomos compartilham elétrons, acontece o que chamamos de ligação covalente. É o caso, por exemplo, da formação da molécula de água, obtida pela união de dois átomos de hidrogênio com um átomo de oxigênio. Essa ligação é muito forte e está representada na ilustração ao lado.

Quando um dos átomos cede, definitivamente, os elétrons da última camada e o outro recebe, definitivamente, esses elétrons, ocorre a chamada ligação iônica. É o que acontece, por exemplo, na formação do cloreto de sódio, ou seja, o sal que a gente usa na cozinha, composto por um átomo de sódio e um átomo de cloro.

Existe ainda um terceiro tipo de ligação: é a ligação metálica, responsável, entre outras propriedades, pela elevada condutividade térmica e elétrica que todos os metais possuem, causada pela mobilidade dos elétrons de valência.

E como a ligação metálica acontece? Para explicar isso, precisamos saber inicialmente que os átomos dos metais apresentam poucos elétrons na camada de valência. Esses elétrons podem ser removidos facilmente, enquanto que os demais ficam firmemente ligados ao núcleo. Isso origina uma estrutura formada pelos elétrons livres e por íons positivos constituídos pelo núcleo do átomo e pelos elétrons que não pertencem à camada de valência.

Como os elétrons de valência podem se mover livremente dentro da estrutura metálica, eles formam o que é chamado de "nuvem eletrônica". Os íons positivos e a nuvem eletrônica negativa originam forças de atração que ligam os átomos de um metal entre si. A representação desse tipo de ligação é mostrada a seguir:

A união entre os átomos, feita por meio de ligações covalentes, recebe o nome de molécula. As moléculas podem conter muitos átomos. É o caso, por exemplo, dos compostos orgânicos, formados pela combinação de carbono com hidrogênio (principalmente), cujas moléculas (as macromoléculas) contêm muitas centenas de átomos. Elas formam, entre outros, os superpolímeros, mais comumente conhecidos como materiais plásticos.

Fique por dentro
Por convenção, na representação esquemática das moléculas, os átomos de hidrogênio são sempre representados por bolinhas brancas. Os átomos de carbono, por sua vez, são representados por bolinhas pretas.

Essas uniões entre os átomos implicam intensas forças de atração atômica, responsáveis por propriedades importantes dos materiais, como o ponto de fusão e a resistência mecânica. Guarde essas informações porque elas são muito importantes.

Este curso é feito de tal modo que as informações são divididas em pequenos blocos que você vai aprendendo e juntando na cabeça até formar uma grande rede de conhecimento. Então, vamos dar uma paradinha para estudar?

Forças de atração atômica
São as forças de atração e repulsão entre partículas carregadas eletricamente. Em um material sólido, na temperatura ambiente, as forças de atração predominam e os átomos se organizam de acordo com uma configuração fixa.

Para parar e estudar
Quando a gente estuda, principalmente sozinho, é muito importante não deixar informações para trás. Por isso, releia com atenção a primeira parte desta aula. Anote o que você achar importante, estude suas anotações e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:
   a) Qual foi a hipótese que Demócrito levantou sobre a matéria?
   b) Atualmente, o que a teoria química diz sobre os átomos?
   c) Como é o comportamento dos elétrons?

d) O que é uma camada de valência?

e) Quantos elétrons deve ter a camada de valência para que o átomo seja considerado estável?

f) O que é ligação metálica?

g) Como os átomos se combinam para formar as moléculas?

h) O que mantém as moléculas unidas?

i) O que são forças de atração atômica?

2. Nas afirmações a seguir, escreva C nas afirmações corretas e corrija as que julgar erradas:

a) ( ) A ligação metálica é gerada pela força de atração entre íons positivos e elétrons livres.

b) ( ) As órbitas dos elétrons são chamadas de camada de valência.

c) ( ) A ligação metálica é responsável pela alta condutividade elétrica e térmica dos metais.

d) ( ) A ligação iônica acontece quando um átomo cede elétrons de sua camada externa e outro átomo recebe esses elétrons.

e) ( ) As moléculas são formadas pela combinação dos átomos por meio de ligações covalentes.

f) ( ) Os compostos orgânicos são formados pela ligação entre átomos de carbono e hidrogênio.

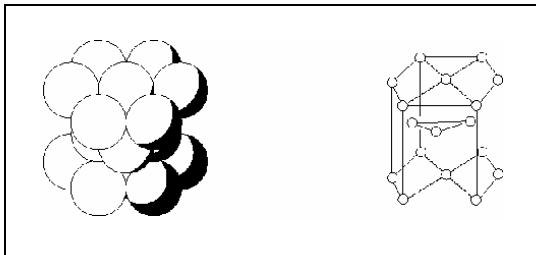
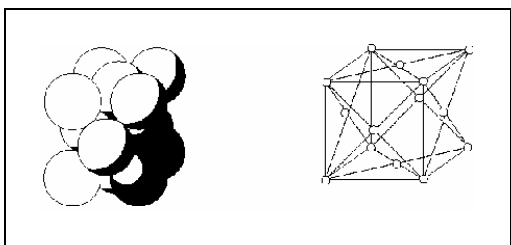
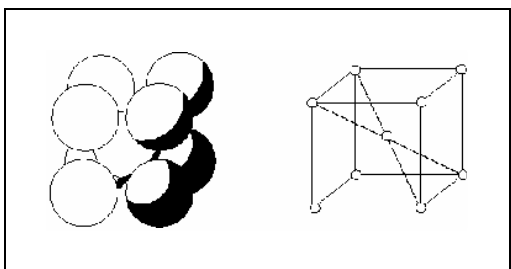
g) ( ) Em um material líquido, na temperatura ambiente, as forças de atração predominam e os átomos se organizam segundo uma configuração fixa.

Estrutura cristalina? O que é isso?

Se você pudesse ampliar a maioria dos materiais sólidos a ponto de ver as partículas que o compõem, observaria que essas partículas se arrumam de uma forma muito organizada.

Essa organização parece uma rede em três dimensões que se repete em todo o material. Ela é chamada de estrutura cristalina. Materiais metálicos, como o ferro, o aço, o cobre e materiais não-metálicos, como a cerâmica, apresentam esse tipo de estrutura. No caso das pedras preciosas e do quartzo, por exemplo, essa

repetição muitas vezes controla a forma externa do cristal.

Dependendo da forma geométrica que essas estruturas cristalinas apresentam, elas recebem um nome. Assim, se você tiver metais como berílio, zinco e cádmio, a estrutura formada será um prisma hexagonal, com três átomos dentro dela. Essa estrutura se chama hexagonal compacta, ou **HC**.

Se os metais a sua disposição forem alumínio, níquel, cobre, prata, ouro, platina, chumbo, por exemplo, a estrutura terá a forma de um cubo com um átomo em cada uma de suas faces. Essa estrutura recebe o nome de estrutura cúbica de face centrada, ou CFC.

Metais como ferro, cromo, tungstênio, molibdênio apresentam a estrutura em forma de cubo com um átomo extra em seu centro. Essa estrutura recebe o nome de estrutura cúbica de corpo centrado, ou CCC.

Observe que usamos duas formas para representar a estrutura:

como esferas cheias, encostadas umas nas outras e, em desenho esquemático, para facilitar a visualização da forma geométrica.

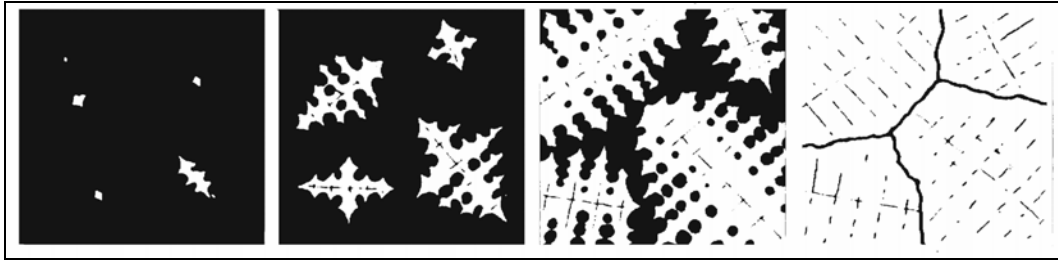
Laminação

É um processo de fabricação por conformação mecânica, no qual uma barra grossa de metal, chamada **lingote**, é passada entre dois rolos, os cilindros laminadores, para se transformar em uma chapa. É exatamente como o pasteleiro “abre” sua massa de pastel.

Na representação com esferas, observe como elas estão organizadas muito juntas. Porém, por mais juntas que estejam, há espaços vazios entre elas, como uma pilha de laranjas arrumadas na banca da feira. Quando os metais são deformados por processos mecânicos, como a laminação, as camadas de átomos deslizam umas sobre as outras ao longo dos planos de átomos que se formam nas estruturas cristalinas. Esses planos são chamados de planos cristalinos.

Estruturas cristalinas cúbicas possuem mais planos de átomos do que as estruturas hexagonais. Por isso, é mais fácil deformar um material que possui estrutura cúbica, como o alumínio, o cobre e o ferro, do que um metal que possui estrutura hexagonal como o magnésio e o cádmio.

Ao estudar os metais e suas propriedades, você também ouvirá falar de defeitos cristalinos. Esses defeitos, que se formam na maioria das vezes durante o processo de fabricação, surgem na forma de contorno dos grãos, por exemplo.

E como o contorno do grão se forma? É simples. Durante o processo de solidificação de qualquer metal, a formação dos cristais se inicia em diversos pontos ao mesmo tempo. Nos locais onde esses cristais se encontram, forma-se uma área de transição com átomos que não pertencem a nenhum dos cristais.

Na região dos contornos dos grãos, a deformação é mais difícil, pois os planos cristalinos são interrompidos, dificultando o deslizamento. Por isso, a ruptura de um metal, na maioria dos casos, acontece no contorno do grão.

Como você vê, pouco a pouco a estrutura dos materiais começa a ajudar a explicar suas propriedades. Mas, quais são elas? Já citamos aqui o ponto de fusão, a solubilidade, a resistência mecânica, a ductilidade. Só que não dissemos o que isso significa para o material. Será que é bom? Será que é ruim? São só essas as propriedades? O assunto é intrigante, mas vamos fazer suspense, porque só vamos falar sobre isso na próxima lição. Por enquanto, fique com os nossos exercícios.

Para parar e estudar

O objetivo destas paradas é estratégico: é um tempo para você reler esta parte da aula, fazer anotações, aprender. Os exercícios são para ajudar. Vamos a eles.

Exercícios

3. Responda a estas perguntas:

- **a)** O que é a estrutura cristalina?
- **b)** Cite alguns materiais que têm estrutura cristalina.
- **c)** Cite os três tipos de estrutura cristalina que existem.
- **d)** Por que é mais fácil deformar um metal que possui estrutura cúbica?
- **e)** O que acontece com as camadas de átomos quando os metais são deformados por processos de fabricação como a laminação?
- **f)** Por que a ruptura de um metal quase sempre ocorre no contorno do grão?

Avalie o que você aprendeu

4. Faça um resumo desta aula, usando as seguintes palavras-chave: átomo, próton, neutro, elétron, camada de valência, ligação metálica, cristal, estrutura cristalina, grão, contorno do grão.

Gabarito

1. **a)** Ele imaginou que toda matéria é composta de pequenas partículas que ele chamou de átomos.
   b) Ela diz que os átomos se constituem de várias partículas.
   c) Carregados negativamente, os elétrons giram em órbitas em volta do núcleo do átomo.
   d) É a última camada de elétrons.
   e) Oito elétrons, com exceção do hidrogênio e hélio.
   f) É uma estrutura formada por elétrons livres e íons positivos.
   g) Por intermédio das ligações covalentes.
   h) São as intensas forças de atração atômica.
   i) São as forças de atração e repulsão entre partículas carregadas eletricamente.

2. **a)** C
   b) F (A última órbita de elétrons é chamada camada de valência.)
   c) C
   d) C
   e) C
   f) C
   g) F (Em um material sólido, em temperatura ambiente, as forças de atração predominam e os átomos se organizam de acordo com uma configuração fixa.)

3. **a)** É a repetição da organização das partículas em três dimensões.
   b) Ferro, cobre, aço etc.
   c) HC, CFC, CCC (hexagonal composto, cúbica de face centrada, cúbica de corpo centrado).
   d) Porque possuem mais planos de átomos do que as estruturas hexagonais.
   e) Deslizam umas sobre as outras.
   f) Porque a deformação nessa região é mais difícil, pois os planos cristalinos são interrompidos, dificultando o deslizamento.

Introdução

O pior é que têm! Como? Pense um pouco. Por que o plástico é "plástico"? Por que o alumínio é mais leve que o ferro? Por que a borracha depois de esticada volta a sua forma primitiva? Por que o cobre conduz eletricidade e o plástico, não?

As respostas a essas perguntas aparecem quando a gente conhece as propriedades dos materiais. Elas são a "personalidade" deles. E conhecê-las é importante, porque, quando queremos fabricar qualquer produto, não basta apenas conhecer a tecnologia de como fabricá-lo.

Se não soubermos bem como cada material se comporta em relação ao processo de fabricação e ao modo como a peça é usada, corremos o risco de usar um material inadequado.

Mas você deve estar pensando: "É, tudo isso é até interessante, porém acho que eu não vou fabricar nada. Só quero ser um profissional da indústria mecânica...". Certo, mas, para ser um bom profissional, é preciso saber os comos e os porquês das coisas. E alguns desses porquês nós vamos estudar nesta aula. Você está preparado? Então, vamos começar.

Metálico ou não metálico, heis a questão

Você já reparou na variedade de materiais usados na indústria moderna? Pense um pouco: para serem bonitos, baratos, práticos, leves, resistentes, duráveis, os produtos são feitos de

materiais que conseguem atender, não só às exigências de mercado, mas também às exigências técnicas de adequação ao uso e ao processo de fabricação.

E quais são eles? Depende do tipo de produto que se quer e do uso que se vai fazer dele. Por exemplo: se você quiser fabricar tecidos, terá de utilizar algodão, lã, seda, fibras sintéticas. Na fabricação de móveis, você usará madeira, resinas sintéticas, aço, plásticos. Para os calçados, você terá que usar couro, borracha, plástico. Na indústria metal-mecânica, na fabricação de peças e equipamentos, você vai usar ferro, aço, alumínio, cobre, bronze.

Todos esses materiais estão agrupados em duas famílias:
- materiais metálicos ferrosos e não-ferrosos;
- materiais não-metálicos naturais e sintéticos.

Essa divisão entre metálicos e não-metálicos está diretamente ligada às propriedades desses materiais. Assim, os materiais metálicos apresentam plasticidade, isto é, podem ser deformados sem se quebrarem e conduzem bem o calor e a eletricidade. Aliás, a condutividade tanto térmica quanto elétrica dos metais está estreitamente ligada à mobilidade dos elétrons dos átomos de sua estrutura. Os não-metálicos, por sua vez, são - na maioria dos casos - maus condutores de calor e eletricidade. O quadro a seguir, ilustra essa classificação.

Materiais			
Metálicos		**Não-metálicos**	
Ferrosos	Não-ferrosos	Naturais	Sintéticos
Aço	Alumínio	Madeira	Vidro
Ferro fundido	Cobre	Asbesto	Cerâmica
	Zinco	Couro	Plástico
	Magnésio	Borracha	
	Chumbo		
	Estanho		
	Titânio		

Esta classificação é importante para o que estudaremos nas próximas lições. Então, vamos parar um pouco para que você

possa estudar esta parte da lição.

Para parar e estudar

Estamos parando para você recuperar o fôlego. Tome um cafezinho ou um suco e depois retome o trabalho que é apenas ler esta parte da aula e fazer um exercício bem fácil.

Exercício

1. Relacione os materiais listados a seguir com o grupo ao qual ele pertence.

a) ( ) Vidro
b) ( ) Couro.
c) ( ) Alumínio.
d) ( ) Madeira.
e) ( ) Cerâmica
f) ( ) Aço.
g) ( ) Plástico.

1. Material metálico ferroso.
2. Material metálico não-ferroso.
3. Material não-metálico natural.
4. Material não-metálico sintético.

Enfim, as propriedades

Quantos tipos diferentes de materiais você acha que são usados na fabricação de um automóvel, por exemplo? Para citar apenas alguns, vamos lembrar o ferro fundido, o aço, o alumínio, o plástico, a borracha, o tecido. Cada um deles possui características próprias: o ferro fundido é duro e frágil, o aço é bastante resistente, o vidro é transparente e frágil, o plástico é impermeável, a borracha é elástica, o tecido é bom isolante térmico...

Dureza, fragilidade, resistência, impermeabilidade, elasticidade, condução de calor... Todas essas capacidades próprias de cada material e mais algumas que estudaremos nesta parte da lição são o que chamamos de **propriedades**. O que não podemos esquecer é que cada uma delas está relacionada à natureza das ligações que existem entre os átomos de cada material, seja ele metálico ou não-metálico.

Para tornar nosso estudo mais fácil, as propriedades foram reunidas em grupos, de acordo com o efeito que elas causam. Assim, temos:

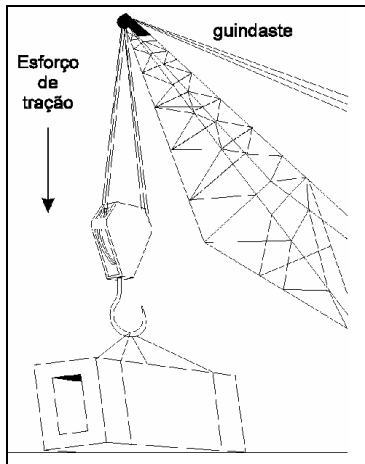
- propriedades físicas;

* propriedades químicas.

Cada uma e todas elas devem ser consideradas na fabricação de qualquer produto. Vamos, então, estudar cada grupo de propriedades.

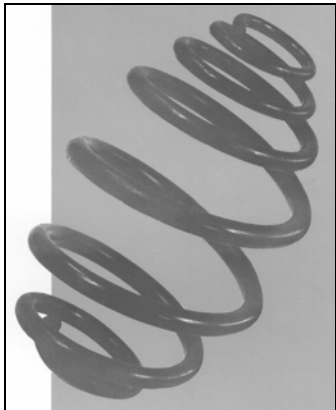
Propriedades físicas

Esse grupo de propriedades determina o comportamento do material em todas as circunstâncias do processo de fabricação e de utilização. Nele, você tem as propriedades mecânicas, as propriedades térmicas e as propriedades elétricas.

As propriedades **mecânicas** aparecem quando o material está sujeito a esforços de natureza mecânica. Isso quer dizer que essas propriedades determinam a maior ou menor capacidade que o material tem para transmitir ou resistir aos esforços que lhe são aplicados. Essa capacidade é necessária não só durante o processo de fabricação, mas também durante sua utilização. Do ponto de vista da indústria mecânica, esse conjunto de propriedades é considerado o mais importante para a escolha de uma matéria-prima.

Dentre as propriedades desse grupo, a mais importante é a **resistência mecânica**. Essa propriedade permite que o material seja capaz de resistir à ação de determinados tipos de esforços, como a **tração** e a **compressão**. Ela está ligada às forças internas de atração existentes entre as partículas que compõem o

material. Quando as ligações covalentes unem um grande número de átomos, como no caso do carbono, a dureza do material é grande.

A resistência à tração, por exemplo, é uma propriedade bastante desejável nos cabos de aço de um guindaste. A elasticidade, por outro lado, deve estar presente em materiais para a fabricação de molas de veículos.

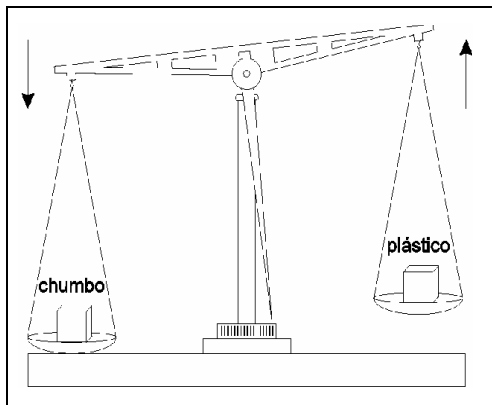
A **elasticidade** é a capacidade que o material deve ter de se deformar, quando submetido a um esforço, e de voltar à forma original quando o esforço termina. Quando se fala em elasticidade, o primeiro material a ser lembrado é a borracha, embora alguns tipos de materiais plásticos também tenham essa propriedade. Porém, é preciso lembrar que o aço, por exemplo, quando fabricado para esse fim, também apresenta essa propriedade. É o caso do aço para a fabricação das molas.

Um material pode também ter **plasticidade**. Isso quer dizer que, quando submetido a um esforço, ele é capaz de se deformar e manter essa forma quando o esforço desaparece.

Essa propriedade é importante para os processos de fabricação que exigem conformação mecânica, como, por exemplo, na prensagem, para a fabricação de partes da carroceria de veículos, na laminação, para a fabricação de chapas, na extrusão, para a fabricação de tubos. Isso se aplica para materiais, como o aço, o alumínio e o latão. O que varia é o grau de plasticidade de cada um. A plasticidade pode se apresentar no material como **maleabi-**

lidade e como **ductilidade**.

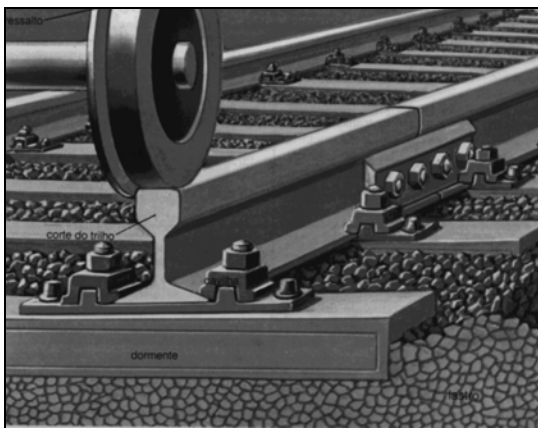
A **dureza** é a resistência do material à penetração, à deformação plástica permanente, ao desgaste. Em geral os materiais duros são também frágeis. Por falar nisso, a **fragilidade** é também uma propriedade mecânica na qual o material apresenta baixa resistência aos choques. O vidro, por exemplo, é duro e bastante frágil.

Se você colocar dois cubos maciços do mesmo tamanho, sendo um de chumbo e um de plástico, em uma balança de dois pratos, será fácil perceber a propriedade sobre a qual vamos falar.

Certamente, o prato com o cubo de chumbo descerá muito mais do que o prato com o cubo de plástico. Isso acontece porque o chumbo é mais denso que o plástico. Em outras palavras, cabe **mais** matéria dentro do **mesmo** espaço. Essa propriedade se chama **densidade**.

As **propriedades térmicas** determinam o comportamento dos materiais quando são submetidos a variações de temperatura. Isso acontece tanto no processamento do material quanto na sua utilização. É um dado muito importante, por exemplo, na fabricação de ferramentas de corte, da qual você vai ouvir falar neste curso. As velocidades de corte elevadas geram aumento de temperatura e, por isso, a ferramenta precisa ser resistente a altas temperaturas.

O **ponto de fusão** é o primeiro de nossa lista. Ele se refere à temperatura em que o material passa do estado sólido para o estado líquido. Dentre os materiais metálicos, o ponto de fusão é uma propriedade muito importante para determinar sua utilização. O alumínio, por exemplo, se funde a 660ºC, enquanto que o cobre se funde a 1.084ºC.

O **ponto de ebulição** é a temperatura em que o material passa do estado líquido para o estado gasoso. O exemplo mais conhecido de ponto de ebulição é o da água que se transforma em vapor a 100ºC.

Outra propriedade desse grupo é a **dilatação térmica**. Essa propriedade faz com que os materiais, em geral, aumentem de tamanho quando a temperatura sobe. Por causa dessa propriedade, as grandes estruturas de concreto como prédios, pontes e viadutos, por exemplo, são construídos com pequenos vãos ou folgas entre as lajes, para que elas possam se acomodar nos dias de muito calor. O espaço que existe entre os trilhos dos trens também tem essa finalidade.

Se você segurar uma barra de metal por uma das pontas e colocar a outra ponta no fogo, dentro de um certo tempo ela vai ficar tão quente que você não poderá mais segurá-la. Isso acontece por causa da **condutividade térmica**, que é a capacidade que determinados materiais têm de conduzir calor.

Todos os metais, como já vimos nesta lição, são bons condutores

de eletricidade, ou seja, a **condutividade elétrica** é uma das propriedades que os metais têm. Os fios elétricos usados em sua casa são de cobre, um metal que é um excelente condutor de eletricidade.

A **resistividade**, por sua vez, é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica. Essa propriedade também está presente nos materiais que são maus condutores de eletricidade. Para que você não leve choque, os mesmos fios elétricos de sua casa são recobertos por material plástico, porque esse material resiste à passagem da corrente elétrica.

Propriedades químicas

As propriedades químicas são as que se manifestam quando o material entra em contato com outros materiais ou com o ambiente. Elas se apresentam sob a forma de presença ou ausência de **resistência à corrosão**, **aos ácidos**, **às soluções salinas**. O alumínio, por exemplo, é um material que, em contato com o ambiente, resiste bem à corrosão. O ferro na mesma condição, por sua vez, enferruja, isto é, não resiste à corrosão.

Aqui terminamos nossa aula. O que acabamos de ensinar sobre as estruturas dos materiais e as propriedades que elas determinam são noções importantes para as aulas que virão depois. Sempre que falarmos de um novo material, todas as informações fatalmente girarão em torno de sua utilização a partir das propriedades. Estudaremos, também, como elas poderão ser melhoradas em cada tipo de material. O assunto é super interessante. Aguarde.

Para parar e estudar

Mais essa parada e a aula estará terminada. Estude tudo com atenção e faça os exercícios a seguir. Depois, apresentamos um teste final, para você mesmo avaliar o quanto aprendeu e passar para a próxima aula.

Exercícios

2. Assinale com um **X** a alternativa correta das questões a seguir:

a) Quando precisamos de um material que resista a um determinado esforço, é muito importante conhecer sua:

1. ( ) composição química;
2. ( ) resistência mecânica;
3. ( ) densidade;
4. ( ) condutividade elétrica.

b) Ao aplicarmos um esforço sobre um material, se ele deformar-se permanentemente, dizemos que esse material tem:

1. ( ) elasticidade;
2. ( ) dureza;
3. ( ) condutividade térmica;
4. ( ) ductilidade.

c) Um material cuja propriedade é a condutividade elétrica deve ser capaz de:

1. ( ) oferecer resistência à passagem da corrente elétrica;
2. ( ) aquecer com a passagem da corrente elétrica;
3. ( ) conduzir a corrente elétrica;
4. ( ) isolar a corrente elétrica.

d) A capacidade que o material tem de se deformar quando submetido a um esforço e de voltar à forma original quando o esforço termina é caracterizada como:

1. ( ) maleabilidade;
2. ( ) compressibilidade;
3. ( ) elasticidade;
4. ( ) fragilidade.

e) O que determina o comportamento dos materiais quando submetidos a variações de temperatura são:

1. ( ) as propriedades elétricas;
2. ( ) as propriedades térmicas;
3. ( ) as propriedades químicas;
4. ( ) as propriedades mecânicas.

f) Quando falamos do comportamento dos materiais diante das condições do ambiente, estamos falando de:

1. ( ) propriedades elétricas;
2. ( ) propriedades térmicas;
3. ( ) propriedades químicas;
4. ( ) propriedades mecânicas.

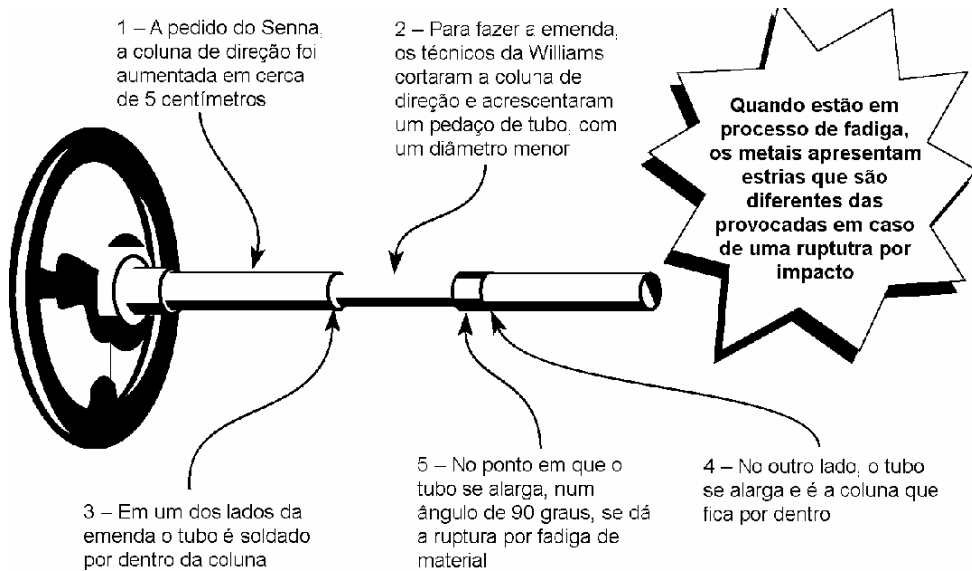
Avalie o que você aprendeu

3. Responda:

a) Qual é o grupo de propriedades mais importante para a construção mecânica e por quê?

b) Cite alguns produtos que você conhece e que são fabricados com os seguintes materiais:

Metálicos ferrosos: ....
Metálicos não-ferrosos: ....
Não-metálicos naturais: ....
Não-metálicos sintéticos: ....

4. Todos os brasileiros ficaram muito chocados com a morte de Ayrton Senna. O acidente foi causado pela quebra da coluna de direção de sua Williams. A seguir, reproduzimos um trecho da reportagem da revista Veja de 3 de maio de 1995, sobre o acidente que matou nosso grande piloto:

Mas a ruptura da haste poderia ter sido provocada pelo processo de 'fadiga do material', expressão que se emprega quando um metal se rompe devido a solicitação ou esforço repetido. Se o rompimento é causado pela fadiga, há outros tipos de sinais característicos, as estrias. Essas marcas surgem a cada ciclo de solicitação, isto é, a cada vez que o metal é submetido a um tipo de esforço como torção e flexão. No caso da coluna de direção do carro de Senna, esses dois esforços ocorriam. A torção se dava quando ele virava o volante para manobrar o carro. E a flexão era produzida pela trepidação e vibração da Williams.

Após ler esse trecho, discuti-lo com seus colegas (e, com base no que você estudou nesta lição sobre as propriedades dos materiais), diga qual foi o grupo de propriedades dos materiais que os engenheiros da Williams ignoraram ao fazer a solda para alongar a barra de direção do carro de Senna. Retire do trecho as palavras que confirmam a sua resposta.

Gabarito

1. **a)** 4 **b)** 3 **c)** 2 **d)** 3
e) 4 **f)** 1 **g)** 4

2. **a)** 2 **b)** 4 **c)** 3
d) 3 **e)** 2 **f)** 3

3. **a)** Propriedades mecânicas. Porque elas determinam a maior ou menor capacidade que o material tem para transmitir ou resistir a esforços que lhe são aplicados.

b) Metálicos ferrosos: bloco de motor, trilhos, chapas de aço;
Metálicos não-ferrosos: fios elétricos, panelas de alumínio, guarnições de latão;
Não-metálicos naturais: móveis, calçados de couro, pneus;
Não-metálicos sintéticos: louças domésticas e sanitárias, brinquedos.

4. Propriedades mecânicas.
Palavras do texto: "solicitação ou esforço repetido"; "esforço como torção ou flexão".

Introdução

A história do homem é a história do domínio da tecnologia dos materiais. Não é à toa que alguns de seus períodos se confundem com os materiais mais usados neles: Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro. Ou com atividades econômicas relacionados ao domínio dessa tecnologia, como a Revolução Industrial.

De fato, durante milhares de anos, essa evolução foi bastante lenta, para depois, em apenas pouco mais de 200 anos, acelerar-se de forma incrível, proporcionando ao ser humano, principalmente nos países industrializados, cada vez mais conforto e tempo para lazer.

Este é, com certeza, o verdadeiro motivo que mantém o ser humano na pesquisa constante de novos materiais: o que ele quer, na verdade, é viver bem e ter mais tempo para si mesmo e para sua família. Se ele consegue, ou não, já é outro problema.

De todos os materiais à disposição da indústria, certamente o ferro fundido e o aço são os mais utilizados. E não é só na indústria mecânica, não: eles estão também na construção civil em edifícios, viadutos e pontes, ajudando a manter unidas as estruturas de concreto; na indústria elétrica, na fabricação de motores que auxiliam a movimentar máquinas e equipamentos industriais.

O que você deve sempre se lembrar é que todo o progresso conseguido na tecnologia de fabricação do ferro fundido e do aço não foi apenas o resultado da abundância do metal na crosta

terrestre, o que facilitou sua utilização. Foi também conseqüência da curiosidade do homem para saber mais sobre a estrutura e o comportamento desses materiais.

Assim, ao longo da história da humanidade, o homem descobriu como minerar, beneficiar e melhorar as propriedades dos metais resultantes desse processo.

E você, não está curioso para aprender um pouco sobre a origem desses metais? É um assunto interessante: ele explica de onde vêm os metais ferrosos e o que a gente faz para transformá-los em matéria-prima ideal para fabricar, tanto um automóvel quanto uma faca de cozinha. Vamos lá, então?

Mais um pouco de História

Hoje é praticamente impossível encontrar alguma área da atividade humana na qual o metal não esteja presente e intimamente ligado ao desenvolvimento. Mas, para isso, o homem percorreu um longo caminho: o ouro teria sido o primeiro metal a ser usado, aproximadamente 8.000 anos antes de Cristo. Ele é um metal encontrado em estado puro na natureza e não necessita de processo de beneficiamento. Seu brilho foi o que, provavelmente, chamou a atenção de nossos antepassados. Contudo, apesar de ser facilmente trabalhável devido a suas propriedades (alta ductilidade, baixa dureza e baixa resistência mecânica), essas mesmas propriedades impediram que o material fosse usado para finalidades práticas, como a fabricação de armas e ferramentas.

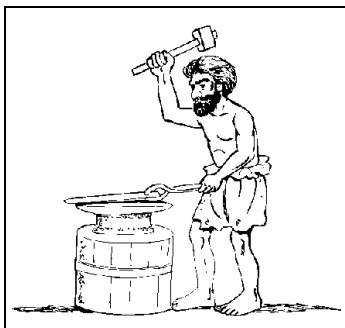
O primeiro metal que foi usado como matéria-prima tanto para objetos de adorno quanto para ferramentas foi o cobre. Os livros de História nos ensinam que, 7.000 anos antes de Cristo, o homem já fazia experiência com esse metal em um lugar hoje chamado Anatólia, lá na antiga União Soviética. Por acaso, os primeiros artesãos descobriram que, apesar de bastante dúctil e maleável, o cobre ficava mais duro quando martelado com outra ferramenta. Descobriu também que era fácil soldá-lo com ele mesmo e que, assim, era possível construir ferramentas mais

complexas.

Além disso, o cobre liga-se facilmente a outros metais. Assim, naturalmente e embora também por acaso, o homem descobriu a primeira liga que continha como base o cobre e ao qual se acrescentava arsênico. Parece que um caçador distraído fundiu sem querer na fogueira do seu acampamento esses dois materiais que estavam ali juntos, no chão.

O resultado foi um metal muito mais duro e resistente do que o cobre puro. O homem percebeu isso e passou a preferir essa liga ao metal puro. Mais tarde ele substituiu o arsênico pelo estanho que, apesar de mais raro e difícil de ser obtido, era mais seguro para ser trabalhado. Estava descoberto o bronze.

Apesar de ser o quarto elemento mais abundante existente na crosta terrestre (5,01%) e de existir em quantidades muito maiores que o cobre (só 0,01%), o ferro só começou a ser usado muito depois (por volta de 3500 a.C.) devido às dificuldades de processamento. O homem da Antigüidade conhecia esse metal como o "Metal do Céu" ou o "Metal das Estrelas", talvez porque o ferro que ele usava naquela época fosse retirado de meteoritos.

Esse homem trabalhava o ferro por uma técnica chamada forjamento, na qual o metal é aquecido até ficar incandescente, ou seja, até ficar vermelho, e martelado até atingir a forma desejada. Assim, não era necessário fundir o metal, pois essa técnica ele ainda não dominava.

Bem mais tarde, por volta do ano 1000 a.C. na China, foram construídos os primeiros fornos de redução do minério de ferro para a produção de aço e, depois, de ferro fundido. Essa tecnolo-

gia, de fundição bem sofisticada, foi desenvolvida, independentemente, na Europa só muito mais tarde, no século XIV.
Depois, a partir da segunda metade do século XIX, com o desenvolvimento do alto-forno e o descobrimento do processo de diminuição do carbono do ferro-gusa, foi possível obter o ferro fundido e o aço em grandes quantidades. A partir daí, o caminho estava aberto para todas as utilizações desses materiais que se fazem hoje.

Falamos de História e você viu que levou muito tempo para que o homem pudesse transformar o ferro no metal mais importante para a indústria mecânica atualmente, apesar do desenvolvimento do alumínio e do avanço do plástico e da cerâmica. Você viu que essa demora aconteceu devido às dificuldades de processamento do metal. Mas, antes de chegar ao metal, é preciso fazer algumas coisas. Que coisas? Isso nós vamos ver mais para a frente nesta aula.

Para parar e estudar

Primeira parada: lápis e papel na mão. Releia esta primeira parte da aula anotando o que você achar importante. Depois é só fazer os exercícios.

Exercício

1. Escreva **C** para as sentenças que você julgar corretas e **F** para as que julgar falsas. Reescreva corretamente as que você considerou falsas:

a) ( ) As propriedades do ouro permitiram que ele fosse usado para a fabricação de armas e ferramentas.

b) ( ) O cobre foi usado para a fabricação de ferramentas porque podia se soldar a ele mesmo e ficava mais duro quando martelado com uma ferramenta.

c) ( ) A liga de cobre e estanho, que forma o bronze, foi descoberta depois do ferro.

d) ( ) O bronze é mais duro e resistente que o cobre puro.

e) ( ) Apesar de ser abundante, o ferro demorou a ser usado porque era mais mole que o cobre.

f) ( ) O ferro, que o homem da Antigüidade usava, vinha das minas e era trabalhado por fundição.

Com quantos elementos químicos se faz um minério de ferro?

Na aula passada, você estudou a natureza dos materiais e viu que eles estão reunidos em dois grandes grupos: os materiais **metálicos** e os **não-metálicos**. No grupo dos materiais metálicos, estudou também que existem dois grupos: os materiais metálicos **ferrosos** e os materiais metálicos **não-ferrosos**. Naquela aula, você teve uma porção de informações sobre a estrutura desses materiais e suas propriedades. Só para refrescar sua memória, vamos retomar algumas informações sobre os materiais metálicos.

O dicionário diz que metal, quando em estado sólido, é um material com estrutura na forma de cristais, compostos por elementos químicos eletropositivos e que tem como propriedades a dureza, a resistência mecânica, a plasticidade e a condutividade térmica e elétrica. E, para que o material metálico seja considerado ferroso, é preciso que ele se constitua de uma liga de ferro com carbono e outros elementos como o silício, o manganês, o fósforo, o enxofre. Quando a quantidade de carbono presente no metal ferroso fica entre 2,0 e 4,5%, temos o **ferro fundido**. Se a quantidade de carbono for menor do que 2%, temos o **aço**.

O problema é que a gente não tropeça em pedaços de ferro fundido e aço, a não ser que vá a um depósito de ferro-velho. Na natureza, o máximo que se encontra é o **minério de ferro**, que precisa ser processado para ser transformado em ferro fundido ou aço.

Vamos ver, então, que história é essa de minério. Bem, os metais podem estar puros na natureza, como o ouro e a platina, ou sob a forma de minerais, ou seja, combinações de metais com outros elementos formando **óxidos**, **sulfetos**, **hidratos**, **carbonatos**.

Óxidos são compostos constituídos por um elemento químico qualquer ligado ao oxigênio. Por exemplo: Al_2O_3 (alumínia), Fe_2O_3 (hematita).

Sulfetos são compostos constituídos por um elemento químico qualquer ligado ao enxofre. Por exemplo: Cu_2S.

Hidratos são compostos que contêm água em sua estrutura: $CuSO_4$ - $5H_2O$.

Carbonatos são compostos que apresentam o grupo CO_3 em sua estrutura. Por exemplo: $CaCO_3$ (carbonato de cálcio).

Quando o mineral contém uma quantidade de metal e de impurezas que compensa a exploração econômica, ele recebe o nome de **minério**. O lugar onde esses minérios aparecem em maior quantidade é chamado de **jazida**. O Brasil, por exemplo, possui grandes jazidas de minério de ferro. E, por falar em minério de ferro, o quadro a seguir resume informações sobre ele.

Tipo	Designação meniralógica	Designação química	Fórmula	Teor metálico	Observações
Carbonato	Siderita	Carbonato ferroso	$FeCO_3$	25 a 45%	Existe pouco no Brasil
	Magnetita	Óxido ferroso-férrico	Fe_3O_4	45 a 70%	Tem prosperidades magnéticas
Óxidos	Limonita	Óxido férrico triidratado	$Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	40 a 60%	Utilizando no alto-forno após pelotização ou sinterização
	Hematita	Óxido férrico	Fe_2O_3	45 a 70%	Abundante no Brasil

Adaptado de: **Materiais de Construção,** Eládio G. R. Petrucci, Porto Alegre: Editora Globo, 1976, pág. 219

Além dos elementos da fórmula química mostrados no quadro acima, o minério de ferro contém ainda cal, sílica, alumina, enxofre, manganês e magnésio, em quantidades bem pequenas. Para o processo de transformação, alguns deles são considerados impurezas.

É, apareceram uns "palavrões" na aula... Mas, você vai ter de aprendê-los. Estude essa parte da aula, com atenção, tendo especial cuidado com os elementos químicos que compõem os

minérios. Depois, faça o exercício a seguir:

Exercícios

2. Complete as definições.

- **a)** Metal é:...
- **b)** As propriedades do metal são:..
- **c)** Metal ferroso é: ....
- **d)** Ferro fundido é: ....
- **e)** Aço é: ....
- **f)** Minério é:...
- **g)** Jazida é: ....
- **h)** Os nomes de minérios de ferro são: ....
- **i)** O minério de ferro mais abundante no Brasil é: ....

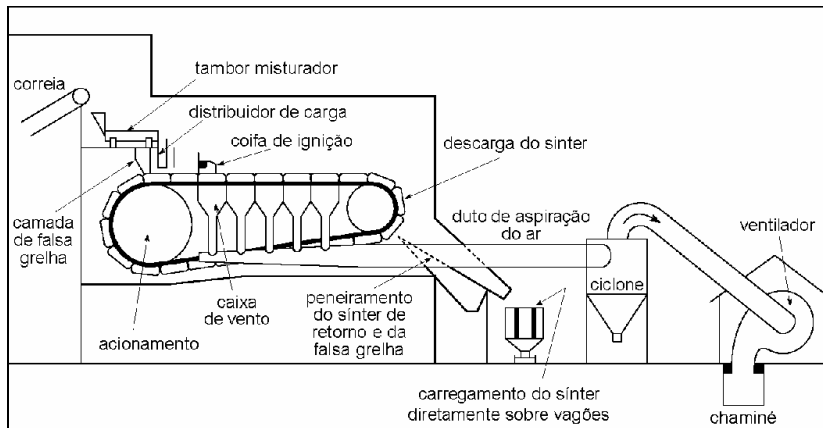
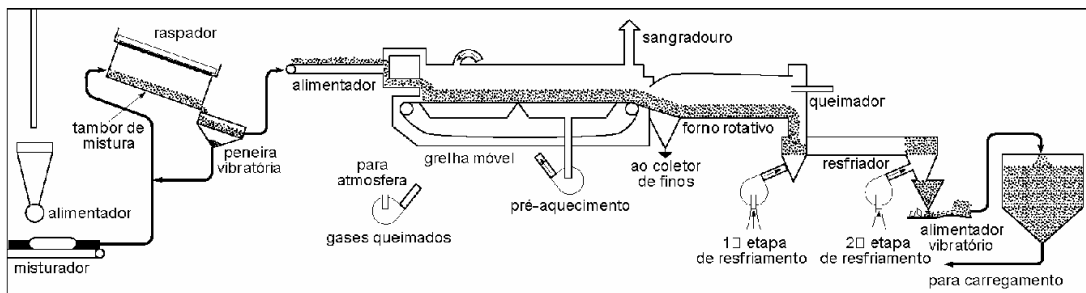
3. O Brasil possui grandes jazidas de minério de ferro. Faça uma pesquisa e descubra em que regiões do Brasil estão localizadas essas jazidas. Se você nunca foi a uma biblioteca, aproveite a ocasião e visite uma. Com certeza, os bibliotecários vão ter muito prazer em ajudar você em sua pesquisa.

A mágica baseada na tecnologia

Mas será que a gente usa o minério assim, do jeito que ele sai da jazida? Claro que não! Imagine o padeiro usando os grãos de trigo do modo como eles saem lá do campo, onde foram cultivados... Não dá para fazer o pão, certo? Com o minério de ferro é a mesma coisa: é preciso prepará-lo para que ele fique adequado para ser empregado como matéria-prima. O processo até que não é complicado, embora exija uma tecnologia que o homem demorou para dominar.

A principal função da preparação do minério de ferro é torná-lo adequado ao uso no alto-forno. O que a gente faz durante esse processo depende da qualidade do minério de que se dispõe. Por exemplo, nas jazidas do Brasil há grande quantidade de minério de ferro em pó. Isso significa que, cerca de 55% do minério é encontrado em pedaços que medem menos de 10 mm. Como o alto-forno, equipamento onde se produz o ferro-gusa, só trabalha

com pedaços entre 10 e 30 mm, isso se tornou um problema. Porém, o aumento das necessidades mundiais de aço trouxe condições econômicas para se desenvolver processos que permitem a utilização desse tipo de minério: esses processos são a **sinterização** e a **pelotização**.

Com a sinterização, são obtidos blocos feitos com partículas de minério de ferro, carvão moído, calcário e água. Isso tudo é misturado até se obter um aglomerado. Depois, essa mistura é colocada sobre uma grelha e levada a um tipo especial de equipamento que, com a queima de carvão, atinge uma temperatura entre 1.000ºC e 1.300ºC. Com esse aquecimento, as partículas de ferro derretem superficialmente, unem-se umas às outras e acabam formando um só bloco poroso. Enquanto ainda está quente, esse bloco é quebrado em pedaços menores chamados **sínter**.

Outra maneira de beneficiar o minério de ferro é por meio da pelotização. Por esse processo, o minério de ferro é moído bem fino e depois umedecido para formar um aglomerado. O aglomerado é, então, colocado em um tipo de moinho em forma de tambor. Conforme esse tambor gira, os aglomerados vão sendo unidos até se transformarem em pelotas (daí o nome: pelotização). Depois disso, essas pelotas são submetidas à secagem e queima para endurecimento.

Depois que o minério de ferro é beneficiado, ele vai para o alto-forno para se transformar em ferro-gusa. O ferro-gusa é a matéria-prima para a fabricação do aço e do ferro fundido. Só que nesse processo, a gente não coloca só o minério de ferro no alto-forno, põe fogo embaixo e pronto. O ferro-gusa também tem sua “receitinha” com “ingredientes” especiais. Esses ingredientes são os fundentes, os desoxidantes, desfosforizantes (materiais que ajudam a eliminar as impurezas) e os combustíveis.

O fundente, isto é, o material que ajuda o minério de ferro a se fundir, é o calcário. Esse material é uma rocha constituída por carbonato de cálcio que, por sua vez, é uma combinação de cálcio com carbono e oxigênio.

Para eliminar as impurezas que, como dissemos lá atrás, os minérios contêm, temos que colocar, em nossa receita, materiais que ajudam a eliminá-las. Assim, por exemplo, a cal é usada como fundente, ou seja, torna líquida a escória do ferro-gusa. O minério de manganês ajuda a diminuir os efeitos nocivos do enxofre que é uma impureza que torna o aço mais frágil. Esse minério é também um desoxidante, isto é, elimina oxigênio que contamina o aço.

Os combustíveis são muito importantes na fabricação do ferro-gusa, pois precisam ter um alto poder calorífico. Isso quer dizer que têm de gerar muito calor e não podem contaminar o metal obtido. Dois tipos de combustíveis são usados: o **carvão vegetal** e o **carvão mineral**.

Por suas propriedades e seu elevado grau de pureza, o carvão vegetal é considerado um combustível de alta qualidade. Na indústria siderúrgica brasileira, esse tipo de combustível participa, ainda, em cerca de 40% da produção total de ferro fundido. Suas

duas grandes desvantagens são o prejuízo ao ambiente (desflorestamento) e a baixa resistência mecânica, muito importante no alto-forno, porque o combustível fica embaixo da carga e tem que agüentar todo o seu peso.

O carvão mineral produz o coque, que é o outro tipo de combustível usado no alto-forno. Para que ele tenha bom rendimento, deve apresentar um elevado teor calorífico e alto teor de carbono, além de apresentar grande resistência ao esmagamento para resistir ao peso da coluna de carga.

Além de serem combustíveis, tanto o coque quanto o carvão vegetal têm mais duas funções: gerar gás redutor ou agir diretamente na redução, e assegurar a permeabilidade à coluna de carga. Isso quer dizer que eles permitem que o calor circule com facilidade através da carga.

Juntando-se essas matérias-primas dentro do alto-forno, obtém-se o ferro-gusa, a partir do qual se fabrica o aço e o ferro fundido. É lá dentro que a "mágica" acontece. Mas ainda não vamos falar sobre ela. Esse processo vai ser descrito em detalhes na próxima aula. Por enquanto, estude cuidadosamente esta parte da lição.

Exercícios

4. Assinale a alternativa que completa corretamente as seguintes afirmações:

a) A matéria-prima básica para a produção do ferro-gusa é o:
1. ( ) minério de manganês;
2. ( ) calcário;
3. ( ) minério de ferro;
4. ( ) chumbo.

b) Uma das finalidades da utilização do minério de manganês no alto-forno é:
1. ( ) facilitar a fusão do minério de ferro;

2. ( ) diminuir o efeito nocivo do enxofre;
3. ( ) diminuir o teor de enxofre;
4. ( ) produzir gás carbônico.

c) O calcário é utilizado no alto-forno para:
1. ( ) eliminar o enxofre;
2. ( ) eliminar o fósforo;
3. ( ) eliminar o oxigênio;
4. ( ) facilitar a fusão do minério de ferro.

d) No Brasil, o combustível que participa em 40% na produção de ferro fundido é:
1. ( ) o carvão mineral;
2. ( ) o óleo combustível;
3. ( ) o carvão vegetal;
4. ( ) o gás combustível.

e) O coque é produzido a partir de:
1. ( ) petróleo;
2. ( ) carvão mineral;
3. ( ) carvão vegetal;
4. ( ) gás redutor.

f) Além de combustível, o carvão tem mais duas funções:
1. ( ) poluir o ambiente e diminuir a resistência mecânica;
2. ( ) ter alto teor calorífico e possuir baixo teor de carbono;
3. ( ) ter resistência mecânica e alto poder calorífico;
4. ( ) gerar gás redutor e permitir que o calor circule com facilidade através da carga.

g) Os processos de beneficiamento do minério de ferro chamam-se:
1. ( ) sinterização e pelotização;
2. ( ) redução e carbonetação;
3. ( ) redução e sintetização;
4. ( ) pelotização e carbonetação.

Avalie o que você aprendeu

5. Responda às seguintes perguntas:

a) Por que o homem da Antigüidade preferiu o cobre em vez do ouro, para fabricar armas e ferramentas?

b) Por que o bronze foi utilizado antes do ferro?

c) Por que levou tanto tempo para se produzir aço em grandes quantidades?

d) O alto-forno é um equipamento que só funciona adequadamente com pedaços de minério de ferro que medem entre 10 e 30 mm. Já que o minério de ferro no Brasil se apresenta em pedaços de 10 mm ou menores, o que é feito para se utilizar esse tipo de minério em nossas siderúrgicas?

e) Quais são os combustíveis usados no alto-forno para a produção de ferro gusa?

f) Quais as qualidades que o coque deve ter para dar um bom rendimento como combustível?

g) Escreva na frente de cada elemento citado sua função (ou funções) no processo de produção do ferro gusa:

1. Minério de ferro ....

2. Calcário ....

3. Cal ....

4. Carvão vegetal ....

5. Coque ....

Gabarito

1. **a)** F (As propriedades do ouro impediram que fosse utilizado para fabricar armas.)
   b) C
   c) F (A liga de cobre e estanho, que forma o bronze, foi descoberta antes do ferro.)
   d) C
   e) F (O ferro demorou para ser utilizado, devido às dificuldades de processamento.)
   f) F (O homem da Antigüidade usava ferro retirado dos meteoritos.)

2. **a)** Um material com estrutura na forma de cristais, composto por elementos químicos eletropositivos.
   b) Dureza, resistência mecânica, plasticidade, condutividade térmica e elétrica.
   c) Uma liga de ferro com carbono e/ou outros elementos.
   d) Quando a quantidade de carbono, presente no metal ferroso, fica entre 2,0 e 4,5%.
   e) Quando a quantidade de carbono no metal ferroso for menor do que 2%.
   f) O mineral que contém uma quantidade de metal que compensa a exploração econômica.
   g) O lugar onde os minérios aparecem em maior concentração.
   h) Siderita, magnetita, limonita, hematita.
   i) Hematita.

3. Pesquisa

4. **a)** 3
   b) 2
   c) 4
   d) 3
   e) 2
   f) 4
   g) 1

5. a) O cobre ficava bastante duro quando martelado.

b) Porque o homem percebeu que o bronze era um metal muito mais duro e resistente que o metal puro.

c) O aço só foi possível de ser produzido em grande quantidade depois do descobrimento do processo de diminuição do carbono do ferro-gusa.

d) O minério passa por um processo de sinterização ou pelotização.

e) O carvão vegetal e o coque.

f) Deve ter um elevado poder calorífico e alto teor de carbono.

g) **1** - Matéria-prima de onde é extraído o ferro.

2 - Fundente.

3 - Desfosforizante.

4 - Combustível de alta qualidade.

5 - Combustível gerador de gás redutor.

Introdução

Você já parou para imaginar um mundo sem coisas simples como facas, agulhas de costura, chaves, fechaduras, alfinetes, lâminas de barbear? Pois é, não faz muito tempo, na verdade cerca de 500 anos - o que não é muito, se comparado com a história da humanidade -, esses objetos eram considerados artigos de luxo. Isso acontecia porque o homem usava processos de beneficiamento rudimentares para a produção do ferro.

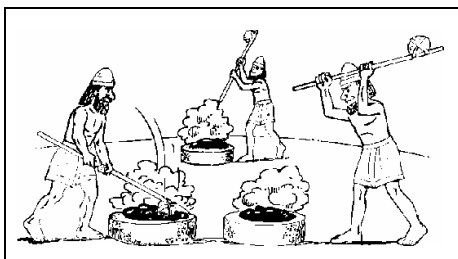
Por não ter os conhecimentos tecnológicos necessários, ele não sabia como obter temperaturas de processamento mais altas, como controlar a quantidade de carbono no ferro e como fazer o ferro sair líquido do forno. Desse modo, ele só conseguia produzir pequenas quantidades a cada dia.

Nossa aula vai contar para você como o homem conseguiu aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e ampliar a oferta de produtos fabricados, a partir dos metais ferrosos. E o desenvolvimento do processo de fabricação do ferro-gusa foi essencial para que isso se tornasse realidade. Foi um longo caminho através da História. Vale a pena conhecê-lo.

Do buraco no chão ao alto-forno

Para poder fabricar o ferro fundido e o aço, você precisa do ferro-gusa. É um material duro e quebradiço, formado por uma liga de ferro e carbono, com alto teor, ou seja, uma grande quantidade de carbono e um pouco de silício, manganês, fósforo e enxofre.

O grande problema tecnológico que envolve a fabricação do gusa, é a obtenção das altas temperaturas que favoreçam a absorção do carbono.

Um povo chamado Hitita foi o primeiro a explorar a “indústria” do ferro, mais ou menos 1.700 anos antes de Cristo, ao sul do Cáucaso. Para obter o ferro, eles faziam um buraco no chão e, dentro dele, aqueciam uma mistura do minério e carvão vegetal.

Desse modo, formava-se uma massa pastosa que eles batiam, para eliminar as impurezas e, depois, trabalhavam por forjamento. Com esse processo, fabricavam punhais, espadas e armaduras que “exportavam” para os países vizinhos.

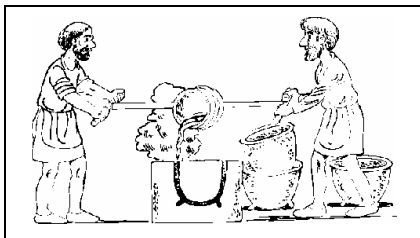
A próxima etapa foi o desenvolvimento de um forno semi-enterrado onde se colocavam camadas de minério de ferro e carvão e no qual era soprado ar, por um fole manual, que aumentava a combustão, do mesmo jeito que as labaredas na churrasqueira aumentam, quando a gente abana as brasas de carvão. Nessas condições, a temperatura podia atingir entre 1.000ºC e 1.200ºC e se obtinha uma massa pastosa de ferro, da qual o oxigênio do minério havia sido eliminado por redução.

Fique por dentro

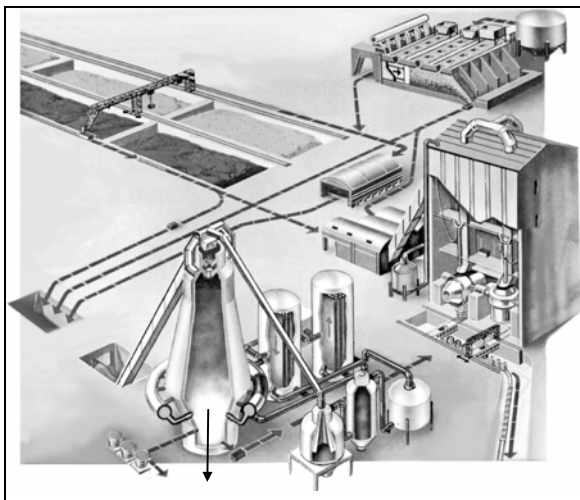
Depois do Cáucaso, o ferro foi aparecer no Egito e na Grécia em torno de 1100 a.C., na Áustria (900 a.C.), Itália (600 a.C.), Espanha, França e Suíça (500 a.C.)

A evolução seguinte foi a elevação das cubas acima do solo. A combustão era ativada por foles movidos a energia hidráulica (rodas d’água), que também movia os martelos que batiam na massa de metal que saía do forno.

Na Europa, no começo do século XIV, os fornos tinham se tornado tão altos e as condições de insuflação de oxigênio tão aperfeiçoadas, que a temperatura de combustão aumentou muito. Isso permitiu que o ferro absorvesse carbono e, finalmente, saísse líquido do forno. Esse produto, embora duro e quebradiço, podia ser novamente derretido com mais facilidade e ser vazado em moldes. Surgiam o alto-forno e a fundição.

Com o desenvolvimento dos processos de eliminação do excesso de carbono, o alto-forno aumentou a produção do aço, introduziu novos processos de fabricação (**trefilação e laminação**), criou novos produtos e novas necessidades. Isso trouxe um sério problema ecológico: começou a faltar madeira para a produção de carvão vegetal usado nos fornos. Na Inglaterra, no século XVIII, finalmente, descobriu-se que o coque, um produto sólido da destilação do carvão mineral, servia como combustível para produzir o ferro-gusa. Daí, para chegar ao alto-forno como o conhecemos hoje, foi um caminho muito mais fácil e rápido.

Trefilação é um processo de fabricação por conformação mecânica, que transforma materiais metálicos em fios.

Laminação também é um processo de conformação mecânica, que transforma materiais metálicos em chapas.

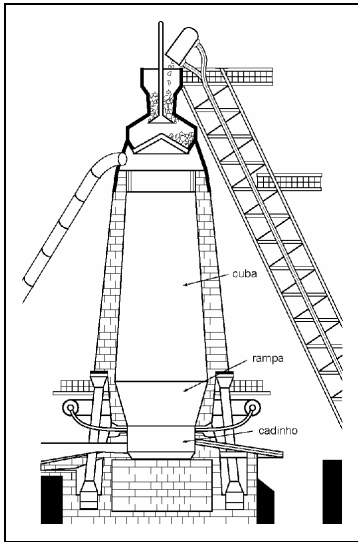
Hoje, um alto-forno pode ter até 35 metros de altura. Fica dentro de um complexo industrial chamado **usina siderúrgica** e é o principal equipamento utilizado na metalurgia do ferro. Sua produtividade diária gira em torno de 8.000 toneladas.

Alto-forno

Fique por dentro

A primeira empresa siderúrgica brasileira a utilizar coque no alto-forno foi a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), implantada em Volta Redonda, no estado do Rio de Janeiro. Era uma empresa estatal, criada por decreto do governo de Getúlio Vargas, em 9 de abril de 1941 e privatizada em 2 de abril de 1993.

O alto-forno é construído de tijolos e envolvido por uma carcaça protetora de aço. Todas as suas partes internas, sujeitas a altas temperaturas, são revestidas com tijolos chamados “refratários” porque suportam essas temperaturas sem derreter. Três zonas fundamentais caracterizam o alto-forno: o fundo chamado cadinho; a segunda seção chamada **rampa**; e a seção superior chamada cuba.

O cadinho é o lugar onde o gusa líquido é depositado. A escória (conjunto de impurezas que devem ser separadas do gusa), que se forma durante o processo, flutua sobre o ferro que é mais pesado. No cadinho há dois furos: o furo de corrida, aberto de tempos em tempos para que o ferro líquido escoe, e o furo para o escoamento da escória. Como a escória flutua, o furo para seu

escoamento fica acima do furo de corrida. Assim, sobra espaço para que uma quantidade razoável de ferro seja acumulada entre as corridas.

Na rampa, acontecem a combustão e a fusão. Para facilitar esses processos, entre o cadinho e a rampa ficam as ventaneiras, que são furos distribuídos uniformemente por onde o ar pré-aquecido é soprado sob pressão.

A cuba ocupa mais ou menos dois terços da altura total do alto-forno. É nela que é colocada, alternadamente e em camadas sucessivas, a carga, composta de minério de ferro, carvão e os fundentes (cal, calcário).

Acredite se quiser

Um alto-forno pode funcionar, sem parar, durante anos. O Alto-forno 1 da CSN funcionou, ininterruptamente, de 9 de janeiro de 1946 até 20 de janeiro de 1992.

Mas, o que será que acontece lá dentro do alto-forno? Bem, isso nós só vamos contar na próxima parte da lição.

Quando a gente estuda, é bom estar descansado e ir devagar. Por isso, vamos a nossa primeira parada, para que você não fique confuso com tanta informação. Releia a primeira parte da aula, fazendo anotações. Depois, faça os exercícios.

Exercícios

1. Escreva **F** se a afirmação for falsa e **V** se a afirmação for verdadeira. Depois, reescreva corretamente em seu caderno as afirmações que você considerou erradas:

a) ( ) O ferro-gusa é um material duro e quebradiço formado por uma liga de ferro e uma grande quantidade de carbono, além de um pouco de silício, manganês, fósforo e enxofre.

b) ( ) A obtenção das altas temperaturas que favorecem a absorção do carbono era o grande problema técnico que envolvia a fabricação do gusa.

c) ( ) O aumento da produção de ferro gusa dificultou a criação de novos processos de fabricação na indústria metalúrgica.

d) ( ) Com o surgimento do alto-forno, a produção aumentou e novos produtos foram criados.

e) ( ) A produtividade diária de um alto-forno, que é o principal equipamento utilizado nas usinas siderúrgicas, gira em torno de 3.500 toneladas.

2. Complete as seguintes frases:

a) O alto-forno é dividido em três partes: o fundo, chamado de ...., a segunda seção, denominada .... e .... que é a seção superior.

b) A escória, que é formada no processo, flutua sobre .... que é mais ....

c) No cadinho, há o furo de .... e o furo de .... da ....

d) O furo para escoamento da .... fica acima do furo de .... do gusa porque .... flutua.

e) Para facilitar a combustão e a fusão entre .... e .... ficam ...., por onde o ar pré-aquecido é soprado sob pressão.

f) A carga, composta de ...., de .... e de ...., é colocada na rampa, alternadamente e em camadas sucessivas.

Qual é a mágica?

Quando o minério de ferro, o coque e os fundentes são introduzidos na parte superior (goela) da rampa, algumas coisas acontecem:

- os óxidos de ferro sofrem redução, ou seja, o oxigênio é eliminado do minério de ferro;
- a ganga se funde, isto é, as impurezas do minério se derretem;
- o gusa se funde, quer dizer, o ferro de primeira fusão se derrete;
- o ferro sofre carbonetação, quer dizer, o carbono é incorporado ao ferro líquido;
- certos elementos da ganga são parcialmente reduzidos, ou seja, algumas impurezas são incorporadas ao gusa.

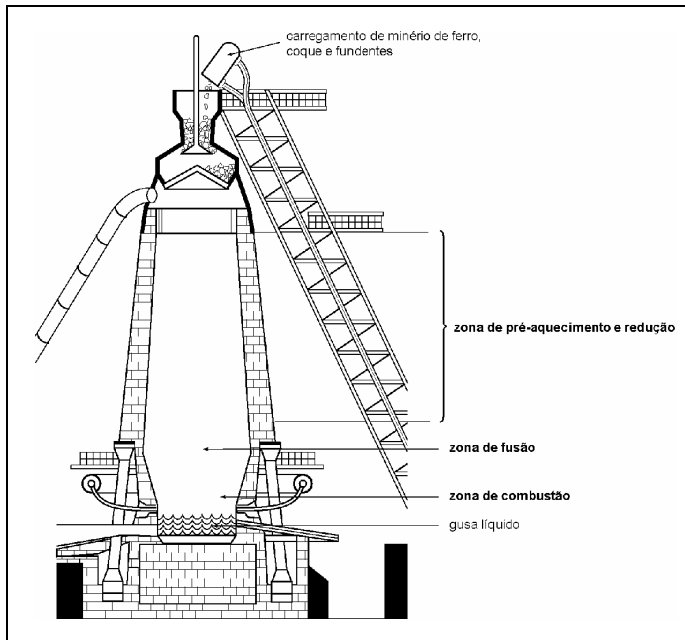
Tudo isso não é nenhuma mágica. São, apenas, as reações químicas provocadas pelas altas temperaturas obtidas lá dentro do forno que trabalham com o princípio da contra-corrente. Isso quer dizer que enquanto o gás redutor, resultante da combustão sobe, a carga sólida vai descendo.

Por causa dessa movimentação, três zonas aparecem dentro do alto-forno:

- a zona onde ocorre o pré-aquecimento da carga e a redução, ou eliminação do
- oxigênio, dos óxidos de ferro;
- a zona de fusão dos materiais;
- a zona de combustão que alimenta as duas primeiras.

A redução dos óxidos de ferro acontece à medida que o minério, o agente redutor (coque ou carvão vegetal) e os fundentes (calcário ou dolomita) descem em contra-corrente, em relação aos gases. Esses são o resultado da queima do coque (basicamente, carbono) com o oxigênio do ar quente (em torno de 1.000ºC) soprado pelas ventaneiras, e que escapam da zona de combustão, principalmente para cima, e queimam os pedaços de coque que estão na abóbada (ou parte superior) da zona de combustão.

A **escória** é uma espécie de massa vítrea formada pela reação dos fundentes com algumas impurezas existentes no minério. Ela pode ser aproveitada para a fabricação de fertilizantes ou de cimentos para isolantes térmicos.

Conforme o coque vai se queimando, a carga vai descendo para ocupar os espaços vazios. Esse movimento de descida vai se espalhando lateralmente pela carga, até atingir toda a largura da cuba.

As reações de redução, carbonetação e fusão que nós descrevemos anteriormente geram dois produtos líquidos: a escória e o ferro-gusa, que são empurrados para os lados, pelos gases que estão subindo e escorrem para o cadinho, de onde saem pelo furo de corrida (gusa) e pelo furo da escória.

Ao sair do alto-forno, o gusa (com teor de carbono entre 3,0 e 4,5%) pode seguir um, entre dois caminhos: pode ir para a fundição, para ser usado na fabricação de peças de ferro fundido, ou pode ir para a aciaria, onde pode ser misturado com sucata de aço ou, eventualmente, com outros metais, para se transformar em aço, ou seja, uma liga ferrosa com um teor de carbono de menos de 2,0%.

Como você pôde perceber, realmente a única mágica que existe na fabricação do gusa é a das reações químicas e, isso, o homem da Antigüidade não conhecia. O que ele sabia era que, quanto mais altas as temperaturas, melhor era o resultado que ele obtinha. No momento em que o homem descobriu como obter as temperaturas ideais e o que acontecia dentro do forno, o progresso foi rápido e contínuo.

Para você, aluno do Telecurso, deve ter ficado a curiosidade de conhecer mais detalhes do que se pode fazer com o produto que sai do alto-forno. Isso é bom, mas vamos manter o suspense até a próxima aula.

Exercícios

3. Ordene, numerando de 1 a 5, as fases das reações químicas que ocorrem dentro do alto-forno. Depois, explique cada uma delas:

a) ( ) A ganga se funde.
b) ( ) O ferro sofre carbonetação.
c) ( ) O gusa se funde.
d) ( ) Os óxidos de ferro sofrem redução.
e) ( ) Certos elementos da ganga são parcialmente reduzidos.

4. Resolva as seguintes questões:

a) Descreva as três zonas que se formam dentro do alto-forno por causa da movimentação da carga que desce e dos gases que sobem.
b) Para onde vai o gusa após sair do alto-forno?
c) O que é escória e qual o seu uso depois que ela sai do alto-forno?

Agora que você já estudou toda a aula e fez todos os exercícios, faça estes para saber se aprendeu tudo mesmo.

5. Assinale a alternativa que completa corretamente as afirmações, a seguir.

a) O grande problema tecnológico que envolve a produção do gusa é:

1. ( ) a presença de impurezas como o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre;
2. ( ) a dificuldade de eliminar o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre;
3. ( ) a obtenção de altas temperaturas que favoreçam a absorção de carbono;
4. ( ) a utilização de combustíveis que contaminam o produto.

b) Para aumentar a temperatura de combustão usa-se:

1. ( ) oxigênio aquecido a uma temperatura de 1.000ºC, soprado sob pressão;
2. ( ) carvão vegetal;
3. ( ) coque obtido do carvão vegetal;
4. ( ) calcário como fundente.

c) O alto-forno é dividido em três partes principais:

1. ( ) zona de pré-aquecimento, cadinho e rampa;
2. ( ) cadinho, rampa e ventaneiras;
3. ( ) zona de pré-aquecimento, zona de fusão e cuba;
4. ( ) cadinho, rampa e cuba.

d) A carga, formada por minério de ferro, carvão e/ou coque e fundentes, é colocada:

1. ( ) na cuba;
2. ( ) no cadinho;
3. ( ) na rampa;
4. ( ) nas ventaneiras.

e) À medida que o minério, o agente redutor e os fundentes descem em contra-corrente em relação aos gases, ocorre:

1. ( ) a oxidação dos gases;

2. ( ) o aumento dos óxidos de ferro;

3. ( ) a descarbonetação do ferro;

4. ( ) a redução do óxido de ferro.

f) O caminho que o gusa com teores entre 3,0% e 4,5% de carbono, pode seguir, ao sair do alto-forno é:

1. ( ) para a laminação para ser trefilado;

2. ( ) para a fundição, para ser usinado;

3. ( ) para a fundição e produção de peças de ferro fundido;

4. ( ) para a estamparia, para ser conformado.

Gabarito

1. **a)** V
b) V
c) F (O aumento da produção de ACC introduziu novos processos de fabricação (trefilação, laminação], criou novos produtos e novas necessidades.)
d) V
e) F (A produtividade diária de um alto-forno gira em torno de 8.000 toneladas.)

2. **a)** cadinho - rampa - cuba
b) ferro - pesado
c) corrida - escoamento - escória
d) escória - corrida - escória
e) cadinho - rampa - ventaneiras
f) minério de ferro - carvão - fundentes

3. **a)** 2. (O oxigênio é eliminado do minério de ferro.)
b) 4 (O carbono é incorporado ao ferro fundido.)
c) 3 (As impurezas do minério se derretem.)
d) 1 (O ferro de primeira fusão se derrete.)
e) 5 (Algumas impurezas são incorporadas ao gusa.)

4. **a)** - Zona de pré-aquecimento.
- Zona de fusão dos metais
- Zona de combustão que alimenta as duas anteriores
b) Pode ir para a fundição ou para a aciaria.
c) Massa vítrea usada para a fabricação de fertilizantes, ou de fibras para isolantes térmicos.

5. **a)** 3
b) 1
c) 4
d) 1
e) 4
f) 3

Introdução

Mesmo quando os métodos de fabricação eram bastante rudimentares os artesãos da Antigüidade, na Ásia e, mais tarde, na Europa medieval, conseguiam fabricar o aço. O aço daquela época chamava-se "aço de cementação". Era uma liga de ferro e carbono obtida aquecendo-se o ferro em contato com um material carbonáceo durante um longo tempo. O aço de Wootz, da Índia, o aço de Damasco e os aços de Toledo, na Espanha, são exemplos desse tipo de aço.

Como você deve se lembrar, o problema desses artesãos era que eles não conseguiam produzir o ferro e, conseqüentemente, o aço em larga escala. O grande salto da Revolução Industrial foi, exatamente, desenvolver os métodos corretos para fabricar aços de melhor qualidade e em quantidades que atendessem às novas necessidades das indústrias que surgiam.

A partir das pesquisas, foram criadas várias maneiras de se transformar o ferro gusa em aço. Na verdade, para que isso aconteça, uma série de reações e modificações químicas acontecem dentro do gusa e elas são sempre as mesmas. O que muda é o ambiente onde essas reações acontecem e a maneira como elas são provocadas. Vários tipos de fornos são usados nesses processos. Quais são esses fornos e o que acontece dentro deles é o que você vai estudar nesta lição.

O ar dá a sua graça

Na aula passada, você estudou que o produto que sai do alto-forno é o ferro-gusa, uma matéria-prima com grandes quantida-

des de carbono e impurezas normais, como o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre. Por causa disso, o gusa é duro e quebradiço.

Para transformar o gusa em aço, é necessário que ele passe por um processo de oxidação - combinação do ferro e das impurezas com o oxigênio - até que a concentração de carbono e das impurezas se reduza a valores desejados.

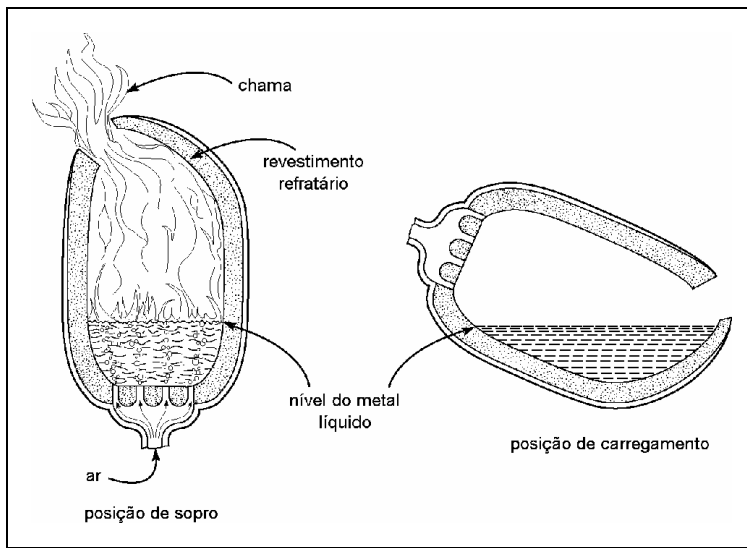
Até que se descobrisse como fazer isso, os engenheiros deram tratos à bola. A idéia apresentada, simultaneamente, por um inglês, Henry Bessemer, e por um americano, William Kelly, em 1847, foi injetar ar sob pressão a fim de que ele atravessasse o gusa. Esse processo permitiu a produção de aço em grandes quantidades.

Os fornos que usam esse princípio, ou seja, a injeção de ar ou oxigênio diretamente no gusa líquido, são chamados “conversores” e são de vários tipos. Os mais conhecidos, nós vamos estudar juntos. Eles são:

- Conversor Bessemer
- Conversor Thomas
- Conversor LD (Linz Donawitz)

O primeiro conversor sobre o qual vamos falar é o Bessemer. É constituído por uma carcaça de chapas de aço, soldadas e rebitadas. Essa carcaça é revestida, internamente, com uma grossa camada de material refratário, isto é, aquele que resiste a altas temperaturas. Seu fundo é substituível e é cheio de orifícios por onde entra o ar sob pressão. A grande sacada desse forno é seu formato (os livros técnicos dizem que ele se parece a uma pêra bem estilizada) que permite seu basculamento. Quer dizer, ele é montado sobre eixos que permitem colocá-lo na posição horizontal, para a carga do gusa e descarga do aço, e na posição vertical para a produção do aço.

Este forno não precisa de combustível. A alta temperatura é alcançada e mantida, devido às reações químicas que acontecem quando o oxigênio do ar injetado entra em contato com o carbono

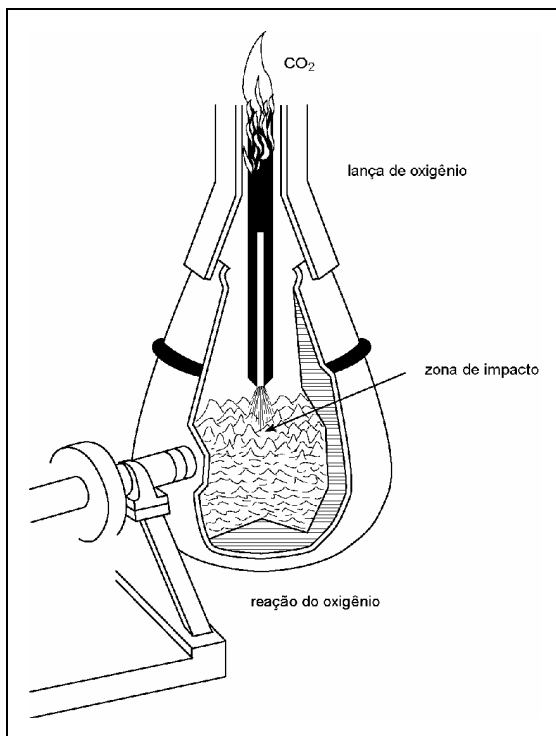
do gusa líquido. Nesse processo, há a combinação do oxigênio com o ferro, formando o óxido de ferro (FeO) que, por sua vez, se combina com o silício (Si), o manganês (Mn) e o carbono (C), eliminando as impurezas sob a forma de escória e gás carbônico. Esse ciclo dura, em média, 20 minutos e o aço resultante desse processo tem a seguinte composição: 0,10% (ou menos) de carbono, 0,005% de silício, 0,50% de manganês, 0,08% de fósforo e 0,25% de enxofre.

O outro conversor é o Thomas, bastante semelhante ao Bessemer: ele também é basculante, também processa gusa líquido e também usa ar nesse processo. A diferença está no revestimento refratário desse conversor, que é feito com um material chamado dolomita, que resiste ao ataque da escória à base de cal e, por isso, esse material permite trabalhar com um gusa com alto teor de fósforo.

As reações químicas que acontecem dentro desse conversor são as mesmas que acontecem no conversor Bessemer, ou seja, oxidação das impurezas, combustão do carbono e oxidação do ferro. Esse processo, porém, tem duas desvantagens: não elimina o enxofre do gusa e o revestimento interno do forno é atacado pelo silício. Assim, o gusa deve ter baixo teor de silício.

O conversor LD usa também o princípio da injeção do oxigênio. A diferença é que o oxigênio puro é soprado sob pressão na super-

fície do gusa líquido. Essa injeção é feita pela parte de cima do conversor. Como é isso? Vamos explicar.

Esse tipo de conversor é constituído de uma carcaça cilíndrica de aço resistente ao calor, revestido internamente por materiais refratários de dolomita ou magnesita. A injeção do oxigênio é feita por meio de uma lança metálica composta de vários tubos de aço. O jato de oxigênio é dirigido para a superfície do gusa líquido e essa região de contato é chamada de zona de impacto.

Na zona de impacto, a reação de oxidação é muito intensa e a temperatura chega a atingir entre 2.500 e 3.000ºC. Isso provoca uma grande agitação do banho, o que acelera as reações de oxidação no gusa líquido. Nesse conversor, a contaminação do aço por nitrogênio é muito pequena porque se usa oxigênio puro. Isso é um fator importante para os aços que passarão por processo de soldagem, por exemplo, pois esse tipo de contaminação causa defeitos na solda.

O uso de conversores tem uma série de vantagens: alta capacidade de produção, dimensões relativamente pequenas, simplicidade de operação e o fato de as altas temperaturas não serem

geradas pela queima de combustível, mas pelo calor que se desprende no processo de oxidação dos elementos que constituem a carga de gusa líquido.

Por outro lado, as desvantagens são: impossibilidade de trabalhar com sucata, perda de metal por queima, dificuldade de controlar o processo com respeito à quantidade de carbono, presença de considerável quantidade de óxido de ferro e de gases, que devem ser removidos durante o vazamento.

Vazamento é a operação de descarga do aço do conversor.

Dos conversores, saem aços usados na fabricação de chapas, tubos soldados, perfis laminados, arames.

Bem, já temos bastante informações para você estudar. Dê uma parada antes da segunda parte da lição. Nela vamos estudar a transformação do aço em outros tipos de fornos. O assunto é "eletrizante", já que vamos falar de fornos elétricos.

Antes que as informações se acumulem demais, é melhor dar esta paradinha para estudar. Ao fazer isso, não se esqueça de fazer anotações do que você achar importante. Isso ajuda a memorizar as informações

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:
   a) Por que o ferro-gusa é duro e quebradiço?
   b) Como o gusa se transforma em aço?
   c) Qual foi a idéia que permitiu a oxidação e a produção do aço em grandes quantidades?
   d) Como são chamados os equipamentos que injetam ar ou oxigênio diretamente no gusa líquido?
   e) Cite duas vantagens dos conversores.
   f) Cite as desvantagens dos conversores.

2. Associe o nome do conversor, da coluna da esquerda, ao conjunto de características, da coluna da direita:

a) Thomas

b Bessemar

c) LD

1. (   ) Seu formato permite colocá-lo na posição horizontal, para a carga do gusa e descarga do aço. Não utiliza combustível e seu revestimento refratário é de sílica.

2. (   ) Na zona de impacto do oxigênio com o gusa, a temperatura chega a atingir entre 2.500ºC e 3.000ºC.

3. (   ) A injeção de oxigênio sob pressão, no gusa líquido, é feita pela parte de cima do conversor, por meio de uma lança metálica. A contaminação do aço, por nitrogênio, é muito pequena.

4. (   ) O revestimento refratário é feito com material chamado dolomita que resiste ao ataque da escória à base de cale ainda permite trabalhar com gusa com alto teor de fósforo.

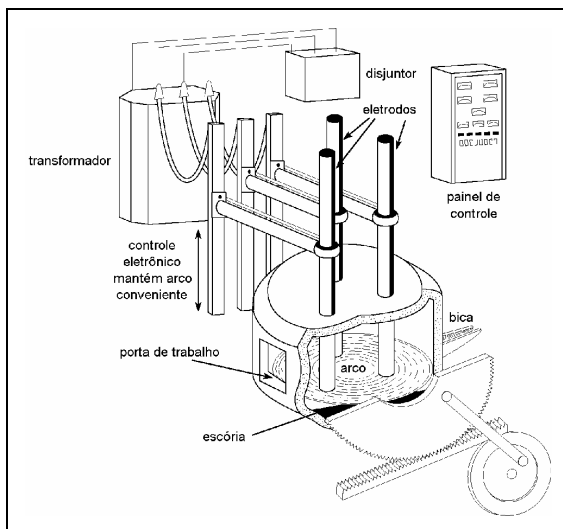
Dá para fazer aço de sucata?

Essa é uma boa pergunta, já que na primeira parte da nossa aula falamos sobre como transformar o gusa em aço. Isso poderia dar a falsa impressão de que só o gusa é matéria-prima para sua fabricação. Se apenas isso fosse possível, os ferros-velhos não existiriam. E quem ainda não vendeu sua sucatazinha lá no ferro-velho do bairro, para ganhar uma grana extra? Pois é, a gente pode fabricar aço a partir de sucata, sim. Só que tem que usar outro tipo de forno.

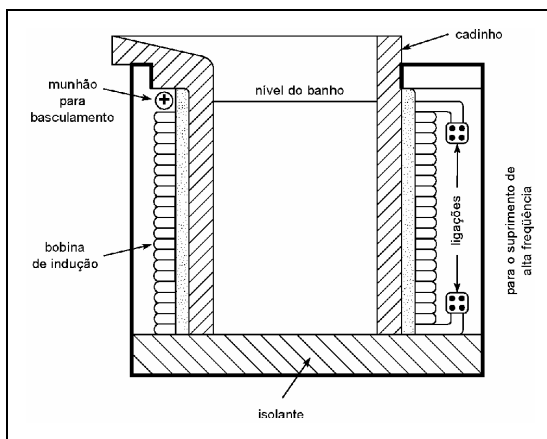
É nos fornos elétricos que se transforma sucata em aço. Por esse processo, transforma-se energia elétrica em energia térmica, por meio da qual ocorre a fusão do gusa e da sucata, sob condições

controladas de temperatura e de oxidação do metal líquido. É um processo que permite, também, a adição de elementos de liga que melhoram as propriedades do aço e lhe dão características excepcionais. Por causa disso, esse é o melhor processo para a produção de aços de qualidade.

Os fornos elétricos são basicamente de dois tipos: a arco elétrico e de indução. O forno a arco elétrico é constituído de uma carcaça de aço feita de chapas grossas soldadas ou rebitadas, de modo a formar um recipiente cilíndrico com fundo abaulado. Essa carcaça é revestida na parte inferior (chamada soleira) por materiais refratários, de natureza básica (dolomita ou magnesita) ou ácida (sílica), dependendo da carga que o forno vai processar. O restante do forno é revestido com tijolos refratários silicosos. Os eletrodos responsáveis, juntamente com a carga metálica, pela formação do arco elétrico estão colocados na abóbada (parte superior) do forno.

A carga de um forno a arco é constituída, basicamente, de sucata e fundente (cal). Nos fornos de revestimento ácido, a carga deve ter mínimas quantidades de fósforo e enxofre. Nos fornos de revestimento básico, a carga deve ter quantidades bem pequenas de silício.

Durante o processo, algumas reações químicas acontecem: a oxidação, na qual oxidam-se as impurezas e o carbono, a desoxidação, ou retirada dos óxidos com a ajuda de agentes desoxidan-

tes, e a dessulfuração, quando o enxofre é retirado. É um processo que permite o controle preciso das quantidades de carbono presentes no aço.

Outro forno que usa a energia elétrica para a produção do aço é o forno de indução, que também processa sucata. O conjunto que compõe esse forno é formado de um gerador com motor de acionamento, uma bateria de condensadores e uma câmara de aquecimento. Essa câmara é basculante e tem, na parte externa, a bobina de indução. O cadinho é feito de massa refratária socada dentro dessa câmara, onde a sucata se funde por meio de calor produzido dentro da própria carga.

Para a produção do aço, liga-se o forno, e os pedaços de sucata que devem ser de boa qualidade vão sendo colocados dentro do forno, à medida que a carga vai sendo fundida. Depois que a fusão se completa e que a temperatura desejada é atingida, adiciona-se cálcio, silício ou alumínio, que são elementos desoxidantes e têm a função de retirar os óxidos do metal.

As vantagens da produção do aço nos fornos elétricos são: maior flexibilidade de operação; temperaturas mais altas; controle mais rigoroso da composição química do aço; melhor aproveitamento térmico; ausência de problemas de combustão, por não existir chama oxidante; e processamento de sucata.

Por outro lado, as principais desvantagens são o custo operacional (custo da energia elétrica) e a baixa capacidade de produção dos fornos.

O aço produzido nos fornos elétricos pode ser transformado em chapas, tarugos, perfis laminados e peças fundidas.

Para ajudar a organizar todas as informações desta aula na sua cabeça, preparamos um quadro que resume o que você leu até agora.

Tipo de forno	Combustível	Tipo de carga	Capacidade de carga	Vantagens	Desvantagens
Conversor Bessemer	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido.	10 a 40 ton.	Ciclo curto de processamento (10 a 20 minutos).	Impossibilidade de controle do teor de carbono. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor Thomas	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido, cal.	Em torno de 50 ton.	Alta capacidade de produção. Permite usar gusa com alto teor de fósforo.	O gusa deve ter baixo teor de silício e enxofre. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor LD	Injeção de oxigênio puro sob alta pressão.	Gusa líquido, cal.	100 ton.	Mínima contaminação por nitrogênio.	Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Forno a arco elétrico.	Calor gerado por arco elétrico.	Sucata de aço + gusa, minério de ferro, cal.	40 a 70 ton.	Temperaturas mais altas. Rigoroso controle da composição química. Bom aproveitamento térmico.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.
Forno de indução	Calor gerado por corrente induzida dentro da própria carga.	Sucata de aço.	Em torno de 8 ton.	Fusão rápida. Exclusão de gases. Alta eficiência.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.

Nesta aula, você viu que o modo de se fabricar o aço depende da matéria-prima que você tem à disposição: gusa líquido pede fornos com injeção de ar; sucata pede fornos elétricos. O tipo de aço que você tem, após a fabricação, também depende desses processos: fornos a ar produzem aços-carbono comuns; fornos elétricos produzem aços de melhor qualidade, cuja composição química pode ser mais rigorosamente controlada.

Uma coisa sobre a qual não falamos, foi a respeito dos elementos que podem ser acrescentados a esses aços, para que eles tenham suas propriedades melhoradas. Esse é o assunto da nossa próxima aula. Aguarde!

Esta segunda parte da aula trouxe informações importantes. Estude-as, dedicando especial atenção ao quadro que resume as informações de toda a aula. Depois, faça os seguintes exercícios.

Exercícios

3. Escreva **V** para as frases verdadeiras e **F** para as frases falsas. Depois, corrija as erradas e as escreva corretamente no seu caderno.

a) ( ) O gusa é a única matéria-prima utilizada na fabricação do aço.

b) ( ) É nos fornos elétricos que ocorre a transformação da sucata em ferro.

c) ( ) Nos fornos elétricos, a fusão do gusa e da sucata ocorre sob condições controladas de temperatura e oxidação do metal líquido.

d) ( ) O processo de transformação da sucata em aço permite, também, a adição de elementos de liga que melhoram as propriedades do aço.

4. **a)** Qual a principal diferença entre forno a arco elétrico e o forno de indução?

b) Na sua opinião, qual a maior vantagem e a maior desvantagem dos fornos elétricos? Por quê?

5. Responda às seguintes perguntas:

a) Que nome se dá ao processo que transforma o gusa em aço?

b) Qual dos elementos que compõem o ferro-gusa, torna-o duro e, portanto, quebradiço? Por quê? (Lembre-se das propriedades dos materiais.)

c) O que é um conversor e qual a principal diferença entre ele e um forno elétrico?

d) Escreva, com suas palavras, as vantagens de utilização de um conversor Bessemer e de um forno elétrico de indução.

e) Escreva, com suas palavras, as desvantagens do forno a arco elétrico e do conversor LD.

f) Que tipos de aços são produzidos por:

1. Conversores: ....

2. Fornos elétricos: ....

Gabarito

1. a) Pela presença de grandes quantidades de carbono e impurezas como o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre.

b) Passando por um processo de oxidação.

c) Injetar ar sob pressão, para atravessar o gusa.

d) Conversores.

e) Alta capacidade de produção e simplicidade de operação, por exemplo.

f) Impossibilidade de se trabalhar com sucata, perda de metal por queima, dificuldade de controlar o processo com respeito à quantidade de carbono etc.

2. a) 4

b) 1

c) 2, 3

3. a) F (Não! O aço também pode ser fabricado a partir da sucata.)

b V (É nos fornos elétricos que ocorre a transformação da sucata.)

c) V

d) V

4. a) No forno elétrico a arco, o calor é gerado pelo arco elétrico formado nos eletrodos e, no forno a indução, o calor é gerado na própria carga.

b) A maior vantagem dos fornos elétricos está no fato de que há maior flexibilidade de operação. A principal desvantagem é o custo operacional (custo da energia elétrica).

5. a) Oxidação ou redução.

b) É o carbono, porque o ferro gusa é uma matéria-prima com grandes quantidades de carbono.

c) É um equipamento que tem a função de transformar o ferro em aço através da injeção de oxigênio ou ar no gusa. A diferença entre o conversor e um forno elétrico é que o conversor não utiliza energia e o forno elétrico, sim.

d) As vantagens de uso de um conversor Bessemer é o ciclo curto de processamento que fica entre 10 e 20 minutos e de um forno elétrico de indução é a fusão rápida - exclusão de gases - e a alta eficiência.

e) As desvantagens são: Forno a arco elétrico - Pequena capacidade dos fornos e custo operacional. Conversor LD - Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória e não permite flexibilidade de produção.

f) **1.** Conversores - Aços-carbonos comuns com baixo teor de carbono.

2. Elétricos - Aços de melhor qualidade com composição química controlada.

Introdução

Do ponto de vista da produção industrial, quanto melhores forem as propriedades mecânicas de um material qualquer, melhor será sua utilização. Isso serve, tanto durante o processo de fabricação quanto durante o uso da peça já fabricada.

Não muito depois de ter aprendido a usar o cobre, o homem percebeu que o bronze, uma mistura de cobre e estanho, era muito melhor do que o metal puro. Embora desconhecesse a estrutura interna do bronze, ele percebeu que esse material era mais duro.

Mesmo para quem até agora não tinha parado para pensar, a sofisticação dos processos de fabricação e dos produtos industriais à disposição no mercado dá uma pista do que se está fazendo por aí em termos de "mistura" de metais e o que isso traz de benefício ao metal-base dessa mistura. E essa pesquisa começa em laboratórios que precisam atender a necessidades sofisticadas, como a construção de naves espaciais, satélites, aviões ou carros de Fórmula 1. Daí, para os produtos que estão na cozinha de nossa casa, é um passo muito pequeno.

Com o aço, o material mais usado na indústria mecânica, não podia ser diferente. Seja pelo controle da quantidade de carbono e de impurezas, seja pela adição de outros elementos, ou por meio de tratamento térmico, é possível fazer com que ele tenha um desempenho muito melhor no processo de fabricação e na utilização que a gente faz da peça depois de fabricada.

Nesta lição, você vai estudar os outros metais que a gente pode misturar ao aço para que ele fique melhor ainda. E vamos dizer

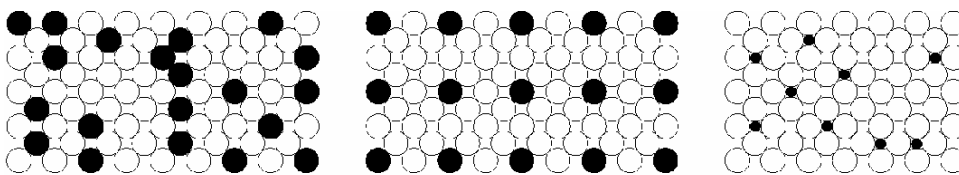
também como ele fica melhor. Esse conhecimento é muito importante como base para quando você for estudar os processos de fabricação mecânica. Fique ligado.

Aço-carbono: um campeão de popularidade

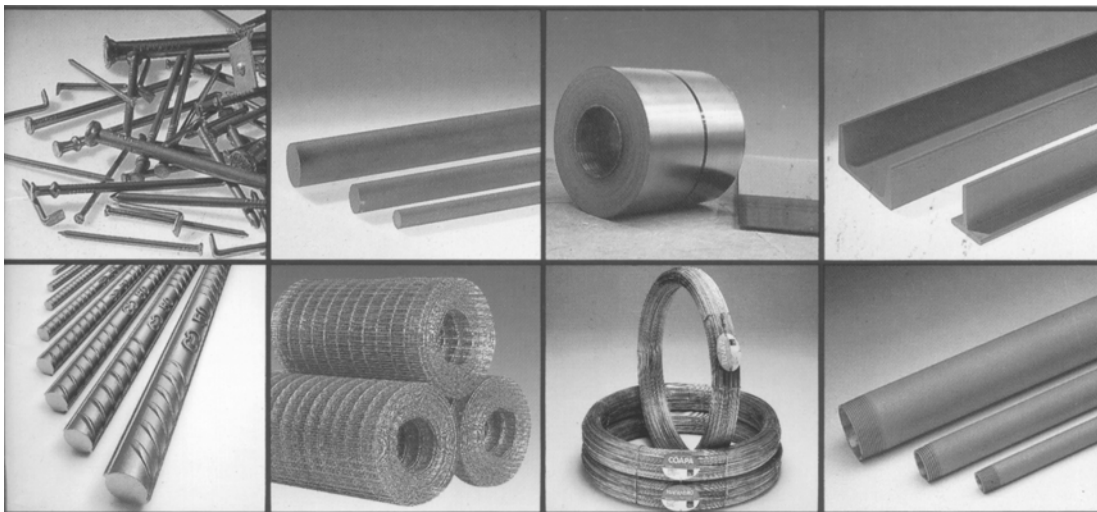
Antes mesmo de conhecer o ferro, o homem já conhecia ao menos uma liga metálica: o bronze. Por observação, ele percebeu que a "mistura" de dois metais melhorava o desempenho do metal que estava em maior quantidade.

O que ele não sabia direito era o que acontecia lá dentro e, portanto, porque era possível misturar os metais entre si e com outros elementos de tal forma que um ficava dissolvido dentro do outro.

Como você já estudou em nossa primeira aula, esses porquês nos são ensinados pela Química e por suas leis que organizam as relações entre os átomos de cada elemento. Assim, as ligas metálicas são, na verdade, o que chamamos de uma solução sólida. Ou seja, a mistura completa dos átomos de dois ou mais elementos onde pelo menos um é metal.

Nos metais, as soluções sólidas são formadas graças à ligação entre os átomos dos metais, causada pela atração entre os íons positivos e a "nuvem eletrônica" que fica em volta dos átomos. A figura a seguir representa, esquematicamente, tipos de soluções sólidas.

Só que, para que isso aconteça, os tamanhos e a estrutura dos átomos dos elementos de liga devem ser parecidos e ter propriedades eletroquímicas também parecidas. O cobre e o ferro, por exemplo, dissolvem muitos metais. Os átomos de carbono, por sua vez, por serem relativamente pequenos, dissolvem-se intersticial-

mente, ou seja, ocupando espaços vazios, entre os átomos do ferro.
Por isso, o aço mais comum que existe é o aço-carbono, uma liga de ferro com pequenas quantidades de carbono (máximo 2%) e elementos residuais, ou seja, elementos que ficam no material metálico após o processo de fabricação.

Dentro do aço, o carbono, juntando-se com o ferro, forma um composto chamado **carbeto de ferro** (Fe_3C), uma substância muito dura. Isso dá dureza ao aço, aumentando sua resistência mecânica. Por outro lado, diminui sua ductilidade, sua resistência ao choque e à soldabilidade, e torna-o difícil de trabalhar por conformação mecânica. Esse tipo de aço constitui a mais importante categoria de materiais metálicos usada na construção de máquinas, equipamentos, estruturas, veículos e componentes dos mais diversos tipos, para os mais diferentes sistemas mecânicos.

As impurezas, como o manganês, o silício, o fósforo, o enxofre e o alumínio fazem parte das matérias-primas usadas no processo de produção do aço. Elas podem estar presentes no minério ou ser adicionadas para provocar alguma reação química desejável, como a desoxidação, por exemplo.

Elemento de liga: elemento, metálico ou não, que é adicionado a um metal (chamado de **metal-base**) de tal maneira que melhora alguma propriedade desse metal-base. Por exemplo, adicionando

quantidades adequadas de estanho ao cobre, obtém-se o bronze, que é mais duro que o cobre.
Por mais controlado que seja o processo de fabricação do aço, é impossível produzi-lo sem essas impurezas. E elas, de certa forma, têm influência sobre as propriedades desse material. Quando adicionadas propositalmente são consideradas **elementos de liga**, conferindo propriedades especiais ao aço. Às vezes, elas ajudam, às vezes, elas atrapalham. Assim, o que se deve fazer é controlar suas quantidades.

O **manganês** é a impureza encontrada em maior quantidade no aço (até 1,65%). Se você está mesmo ligado, deve se lembrar que, na produção do aço, ele é adicionado para auxiliar na desoxidação do metal líquido e para neutralizar o efeito nocivo do enxofre. Nesse processo, ele se combina primeiro com o enxofre e forma o sulfeto de manganês (MnS). Isso aumenta a **forjabilidade** do aço, a **temperabilidade**, a resistência ao choque e o limite elástico. Em quantidades maiores, ele se combina com parte do carbono e forma o carbeto de manganês (Mn_3C), que é muito duro. Isso diminui a ductilidade do aço.

Outro elemento que é adicionado ao metal líquido para auxiliar na desoxidação é o **alumínio**. Ele é usado para "acalmar" o aço, ou seja, para diminuir ou eliminar o desprendimento de gases que agitam o aço quando ele está se solidificando.

Forjabilidade é a capacidade do metal de ser forjado. **Temperabilidade** é a capacidade do metal de endurecer por meio de um tratamento térmico chamado **têmpera**.

O **fósforo** é um elemento cuja quantidade presente no aço deve ser controlada, principalmente, nos aços duros, com alto teor de carbono. Quando ultrapassa certos limites, ele faz o aço ficar mais duro ainda e, por isso, mais frágil a frio. Isso quer dizer que a peça de aço, com valores indesejáveis de fósforo, pode quebrar facilmente quando usada em temperatura ambiente. Um teor de fósforo em torno de 0,04% faz o aço se romper se for deformado a quente, porque forma um composto que se funde a uma temperatura muito menor (1.000ºC) que a do ferro (1.500ºC). Em aços

de baixo teor de carbono, por outro lado, seu efeito nocivo é menor, pois nesse caso o fósforo auxilia no aumento da dureza, e também aumenta a resistência à tração, a resistência à corrosão e a usinabilidade.

O **enxofre** é uma impureza muito difícil de ser eliminada. No aço, ele pode se combinar com o ferro e formar o sulfeto ferroso (FeS), que faz o aço se romper, com facilidade ao ser laminado, forjado ou vergado em temperaturas acima de 1.000ºC. Assim, o teor máximo de enxofre permitido é de 0,05%.

Sabendo que o enxofre se combina melhor com o manganês do que com o ferro, os profissionais que entendem de metalurgia colocam no aço uma quantidade de manganês duas vezes maior do que a de enxofre, porque ele vai "preferir" se combinar com o manganês. Com isso, forma-se o sulfeto de manganês (MnS) que se solidifica em níveis de temperatura semelhantes aos do aço. Por isso, sua presença no aço não é tão nociva.

Lingote é uma barra de metal fundido.

O **silício** é acrescentado ao metal líquido, para auxiliar na desoxidação e impedir a formação de bolhas nos **lingotes**. Ele está presente, no aço, em teores de até 0,6%, e não tem grande influência sobre suas propriedades.

O enxofre, o manganês, o silício e o alumínio também formam, dentro do aço, compostos chamados de "inclusões não-metálicas". Essas inclusões são partículas alongadas ou em forma de esferas muito pequenas que ficam espalhadas no meio do material metálico. O alumínio, por exemplo, combina-se com o oxigênio e forma um composto chamado **alumina** (Al_2O_3). Quando em quantidades reduzidas, a alumina, que se apresenta sob a forma de partículas muito pequenas, afeta minimamente as propriedades do aço.

Outras inclusões não-metálicas são os silicatos, formados a partir do silício e que favorecem o aparecimento de microtrincas na estrutura do aço; e os sulfetos, formados a partir do enxofre, que

causam menor influência que os silicatos no surgimento de microtrincas.
Há ainda outros elementos, como os gases introduzidos no processo de fabricação (hidrogênio, oxigênio e nitrogênio) e os resíduos de metais provenientes das sucatas (níquel, cobre, molibdênio e cromo).

Sabendo o que a presença de cada uma dessas impurezas causa ao material, é possível, a partir de um controle de suas quantidades e do conhecimento da composição exata do aço, utilizar o material adequado ao processo de fabricação e ao tipo de peça que se quer fabricar.

Mas, se você precisa fabricar um produto que tenha aplicações especiais como, por exemplo, recipientes para a indústria química, que devem ser resistentes aos ataques de produtos químicos, certamente o aço que você usará também terá que ter características especiais. Isso é obtido com o auxílio dos tratamentos térmicos e dos elementos de liga. Os tratamentos térmicos, vamos estudar juntos, em um módulo especial. Os elementos de liga, vamos estudar na próxima parte desta lição. Aguarde.

Para parar e estudar

Ufa! Desta vez você tem mesmo bastante coisa para estudar. O bom desta aula é que você pode parar, voltar e recomeçar, quantas vezes quiser. Por isso, vá com calma. Lápis e caderno na mão para as anotações e... mãos à obra!

Exercícios

1. Preencha as lacunas com a alternativa que completa corretamente cada frase a seguir:

a) O homem descobriu que o bronze, uma mistura de ...., era muito melhor do que o cobre puro.

1. ( ) zinco e estanho;
2. ( ) cobre e estanho;

3. ( ) cobre e zinco;
4. ( ) chumbo e cobre.

b) A mistura completa entre dois metais ocorre graças à ligação entre os .... dos metais.
1. ( ) neutros;
2. ( ) prótons;
3. ( ) átomos;
4. ( ) íons negativos.

c) O que dá dureza ao aço e aumenta sua resistência mecânica é um composto chamado ....
1. ( ) sulfeto de ferro;
2. ( ) sulfeto de manganês;
3. ( ) óxido de ferro;
4. ( ) carboneto de ferro.

d) As impurezas, como o manganês, o silício, o fósforo, o enxofre, o alumínio, fazem parte das .... para a produção do aço.
1. ( ) estruturas cristalinas
2. ( ) matérias-primas;
3. ( ) soluções líquidas;
4. ( ) soluções sólidas.

e) Na produção do aço, o .... é adicionado para auxiliar na desoxidação do metal líquido.
1. ( ) fósforo;
2. ( ) enxofre;
3. ( ) carbono;
4. ( ) manganês.

f) O que faz o aço se romper com facilidade ao ser conformado é o enxofre combinado com o.................. .... em temperaturas acima de 1.000ºC.
1. ( ) zinco;
2. ( ) ferro;
3. ( ) silício;
4. ( ) manganês.

g) Em aços de baixo teor de carbono o ....auxilia no aumento da dureza e da resistência à tração e à corrosão.

1. ( ) manganês;
2. ( ) fósforo;
3. ( ) silício;
4. ( ) estanho.

h) O silício é acrescentado ao metal líquido para auxiliar na .... e impedir a formação de bolhas nos lingotes.

1. ( ) oxidação;
2. ( ) usinabilidade;
3. ( ) desoxidação;
4. ( ) corrosão.

i) No processo de desoxidação do metal líquido, o manganês se combina primeiro com o enxofre e forma o ....

1. ( ) óxido de manganês;
2. ( ) carbonato de manganês
3. ( ) sulfeto de manganês;
4. ( ) hidrato de manganês.

j) Os silicatos são inclusões não-metálicas formadas a partir do silício e que favorecem o aparecimento de .... na estrutura do aço.

1. ( ) bolhas;
2. ( ) partículas oxidantes;
3. ( ) corrosão;
4. ( ) microtrincas.

O que usar para melhorar?

Na verdade, você tem três possibilidades para melhorar a resistência mecânica de qualquer metal: aplicar processos de fabricação por conformação mecânica, como prensagem e laminação, por exemplo; pode, também, tratar o metal termicamente, ou seja,

submetê-lo a aquecimento e resfriamento sob condições controladas. Ou acrescentar elementos de liga. Tudo isso vai mexer com a estrutura do metal-base, de acordo com o que já estudamos na lição sobre as propriedades dos materiais.

Por exemplo, o aço-carbono com baixo teor de carbono (até 0,25%), que constitui cerca de 90% da produção total de aço, pode ter sua resistência mecânica aumentada pelo processamento mecânico a frio. O aço de teor médio (até 0,5%), para a produção de peças forjadas, carcaças de caldeiras, ferramentas agrícolas etc., pode ter sua resistência mecânica aumentada por meio de tratamento térmico.

Então, quando o aço é um aço-liga? Quando as quantidades dos elementos adicionados são muito maiores do que as encontradas nos aços-carbono comuns. E quando essa adição ajuda o aço na modificação e melhoria de suas propriedades mecânicas.

Dependendo da quantidade dos elementos de liga adicionados, o aço-liga pode ser um aço de baixa liga, se tiver até 5% de elementos de adição, ou um aço de liga especial, se tiver quantidades de elementos de liga maiores do que 5%.

Os elementos de liga mais comumente adicionados ao aço são: níquel, manganês, cromo, molibdênio, vanádio, tungstênio, cobalto, silício e cobre. Lembrando que é possível adicionar mais de um elemento de liga para obter um aço-liga, e sem nos determos muito nos detalhes do que acontece com a micro-estrutura desse material, vamos dizer o que cada um desses elementos traz ao aço, em termos de mudança de propriedades.

E, para tornar o estudo mais fácil para você, colocamos essas informações no quadro da próxima página.

Estudando o quadro, dá para perceber que os elementos de liga, em geral, alteram a velocidade das transformações que ocorrem dentro da estrutura do aço, quando ele está esfriando e passando do estado líquido para o estado sólido. Essas alterações das microestruturas modificam a capacidade do material de passar

por um tratamento térmico chamado **têmpera**. Esse tratamento, por sua vez, define a maior resistência e tenacidade do aço. Assim, nos aços-ligas, as propriedades mecânicas são melhoradas por meio de tratamento térmico para endurecimento.

Bem, nesta aula, tentamos dar a você uma noção básica sobre os elementos que estão dentro do aço e o que essa presença faz com o comportamento desse material, durante a fabricação e o uso da peça. O assunto não está, nem de longe, esgotado. Seria muito legal se você não parasse por aqui e procurasse ler mais sobre ele. Vá à biblioteca do seu bairro e dê uma “sapeada”. Você vai descobrir um mundo de informações novas que o tornarão um profissional dos bons!

Elemento de liga	Influência na estrutura	Influências nas propriedades	Aplicações	Produtos
Níquel	Refina o grão. Diminui a velocidade de transformação na estrutura do aço.	Aumento da resistência à tração. Alta ductilidade.	Aço para construção mecânica. Aço inoxidável. Aço resistente a altas temperaturas.	Peças para automóveis. Utensílios domésticos. Caixas parra tratamento térmico.
Manganês	Estabiliza os carbonetos. Ajuda a criar microestrutura dura por meio de têmpera. Diminui a velocidade de resfriamento.	Aumento da resistência mecânica e temperabilidade da peça. Resistência ao choque.	Aço para construção mecânica.	Peças para automóveis e peças para uso geral engenharia mecânica.
Cromo	Forma carbonetos. Acelera o crescimento dos grãos.	Aumento da resistência à corrosão e à oxidação. Aumento da resistência a altas temperaturas.	Aços para construção mecânica. Aços-ferramenta. Aços inoxidáveis.	Produtos para indústria química; talheres; válvulas e peças para fornos. Ferramentas de corte.
Molibdênio	Influência na estabilização do carboneto.	Alta dureza ao rubro. Aumento de resistência à tração. Aumento de temperabilidade.	Aços-ferramenta. Aço-cromo-níquel. Substituto do tungstênio em aços rápidos.	Ferramentas de corte.
Vanádio	Inibe o crescimento dos grãos. Forma carbonetos.	Maior resistência mecânica. Maior tenacidade e temperabilidade. Resistência à fadiga e à abrasão.	Aços cromo-vanádio	Ferramentas de corte.
Tungstênio	Forma carbonetos muito duros. Diminui a velocidade das transformações. Inibe o crescimento dos grãos.	Aumento da dureza. Aumento da resistência a altas temperaturas.	Aços rápidos. Aços-ferramenta	Ferramentas de corte.

Cobalto	Forma carbonetos (fracamente).	Aumento da dureza. Resistência à traição. Resistência à corrosão e à erosão.	Aços rápidos. Elemento de liga em aços magné-ticos.	Lâminas de turbi-na de motores a jato.
Silício	Auxilia na desoxi-dação. Auxilia na grafitização. Aumenta a fluidez.	Aumento da resistên-cia à oxidação em temperaturas elevadas. Melhora da temperabilidade e da resistência à tração.	Aços com alto teor de carbono. Aços para fundição em areia.	Peças fundidas.

Para parar e estudar

Você está cansado? Então, dê uma parada mesmo. Vá até a cozinha, tome um café ou um suco e depois volte, para reler a última parte da aula e fazer os exercícios.

Exercícios

2. Resolva as seguintes questões:

a) Escreva com suas palavras, como é possível melhorar a resistência mecânica de um metal.

b) Quando um aço é um aço-liga?

c) O que a adição de elementos de liga traz ao aço?

d) Quais os elementos de liga mais comumente adicionados ao aço?

e) Qual a diferença entre um aço de baixa liga e um aço es-pecial?

f) Em que momento ocorrem as modificações na estrutura do aço e que lhe dão características especiais?

g) O que a têmpera confere ao aço?

Avalie o que você aprendeu

Será que você pode ir adiante? O teste, a seguir, vai lhe dizer sim ou não.

3. Associe os elementos listados na coluna A com as caracterís-ticas ou aplicações propostas na coluna B.

Coluna A

a) ( ) manganês
b) ( ) Alumínio
c) ( ) Enxofre
d) ( ) Silício
e) ( ) Fósforo

Coluna B

1. Elemento usado para diminuir ou eliminar o desprendimento de gases que agitam o aço, quando ele está se solidificando.
2. Elemento cuja quantidade deve ser controlada, principalmente nos aços duros, com alto teor de carbono.
3. Elemento que é acrescentado ao metal líquido, para auxiliar na desoxidação e para impedir a formação de bolhas nos lingotes.
4. Impureza encontrada em maior quantidade no aço, ela é adicionada para auxiliar na desoxidação do metal líquido.
5. No aço, ele pode se combinar com o ferro e formar o sulfeto ferroso (FeS), que faz o aço se romper com facilidade ao ser laminado, forjado ou vergado, em temperaturas acima de 1.000ºC.

Gabarito

1. **a)** Cobre e estanho.
b) Átomos.
c) Carboneto de ferro.
d) Matérias-primas.
e) Manganês.
f) Ferro.
g) Fósforo.
h) Desoxidação.
i) Sulfeto de manganês.
j) Microtrincas.

2. **a)** Por meio do tratamento térmico e de outros recursos, com alterações na estrutura física, como por exemplo: laminação, forjamento, prensagem e pela adição de elementos de liga.

   b) Quando as quantidades dos elementos adicionados são muito maiores do que as encontradas nos aços-carbono comuns.

   c) Modificação e melhoria de suas propriedades mecânicas.

   d) Níquel, manganês, cromo, molibdênio, vanádio, tungstênio, cobalto, silício e cobre.

   e) Baixa liga, até 5% de elementos de adição e o aço especial, se tiver quantidades de elementos de liga acima de 5%.

   f) Por ocasião do tratamento térmico e pela adição de elementos de liga.

   g) Maior resistência e tenacidade.

3. **a)** 4

   b) 1

   c) 5

   d) 3

   e) 2

Na segunda aula deste módulo, quando nós estudamos a classificação dos materiais, você aprendeu que eles são divididos em dois grupos: os materiais ferrosos e os materiais não-ferrosos. Então, nós começamos a estudar os materiais ferrosos, você se lembra? E começamos pelo aço.

Nesta aula, você vai aprender algumas coisas sobre o "irmão" do aço: o ferro fundido. Você vai aprender que as diferenças de composição entre um e outro é que são responsáveis pelas diferentes propriedades e diferentes aplicações desse metal ferroso.

Esse material é "filho" do gusa, funde a temperaturas bem mais baixas que o aço e apresenta características que o tornam um material único, indicado para aplicações bem específicas. Quais são elas? Você só vai saber se estudar esta lição. Então, se liga!

Obtendo o ferro fundido

Os ferros fundidos são ligas de ferro e carbono com teores elevados de silício e também são fabricados a partir do ferro-gusa. Só que nesse irmão do aço, o carbono está presente com teores entre 2 e 4,5%. E, se eles têm mais carbono, o que acontece? Claro! Eles ficam mais duros do que o aço. Além disso, por causa do silício, forma-se grafite em sua estrutura. Por isso eles são... Isso mesmo! Mais frágeis! Portanto, não é possível forjá-los, estirá-los, laminá-los ou vergá-los em qualquer temperatura.

Mas, como é que o gusa se transforma em ferro fundido? A transformação acontece em dois tipos de fornos: o forno elétrico e o forno cubilô. No forno elétrico, o processo é semelhante ao de produção do aço, que nós já estudamos, você se lembra?

O forno cubilô trabalha com ferro-gusa, sucata de aço, calcário (para separar as impurezas), ferro-silício, ferro-manganês e coque, como combustível. Ele funciona sob o princípio da contra-corrente (como o alto-forno), ou seja, a carga metálica e o coque descem e os gases sobem.

Para começar, limpa-se o forno, que é uma carcaça cilíndrica, vertical de aço, revestida internamente com tijolos refratários. Em seguida, coloca-se um pouco de madeira e o coque no fundo e ateia-se fogo. Quando o fogo atravessa toda a camada de coque e madeira, liga-se o sopro de ar. Nesse momento, é iniciada a carga: em camadas, são colocadas quantidades pré-determinadas de ferro-gusa, sucata, coque e fundente (calcário). Esse carregamento continua, até atingir o nível da porta de carga e assim deve ser mantido durante toda a operação.

Por falar nisso, essa operação pode ser intermitente ou contínua. Se ela for intermitente, a corrida metálica, ou seja, a retirada do ferro fundido do forno, é feita periodicamente, sempre que necessário. No segundo caso, o material fundido (metal e escória) é despejado continuamente na calha de vazamento.

Nessa calha, há uma bacia que separa a escória do metal. Esta, por apresentar menor densidade, flutua e escorre lateralmente. O ferro corre para a panela de fundição.

O forno cubilô não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal. Por isso, ele é empregado para a produção de ferro fundido que será usado na fabricação de peças que não sofrerão grandes esforços. Para a produção de ferros fundidos de alta qualidade, são usados fornos elétricos ou fornos cubilô em conjunto com os fornos elétricos.

Para parar e estudar

Nesta primeira parte da aula, você deve ter percebido que a produção do ferro fundido é até parecida com a produção do aço. Por isso, não será difícil fazer o exercício que apresentamos a seguir:

Exercícios

1. Assinale com um **X** a alternativa correta das questões a seguir:

a) Os ferros fundidos são ligas de:

1. ( ) silício e carbono;
2. ( ) ferro e tungstênio;
3. ( ) carbono e tungstênio;
4. ( ) ferro e carbono.

b) A porcentagem de carbono no ferro fundido gira em torno de:

1.( ) 2 e 4%;
2.( ) 2,5 e 4,5%;
3.( ) 2 e 4,5%;
4.( ) 2,5 e 5%.

c) Quando a porcentagem de carbono é alta na composição do ferro fundido, ele se torna:

1.( ) mais frágil;
2.( ) macio;
3.( ) laminável;
4.( ) forjável.

2. Responda às seguintes perguntas:

a) Quais os processos usados para transformar o gusa em ferro fundido?

b) Dos materiais usados como carga no forno cubilô, qual serve para separar impurezas e qual serve como combustível?

c) Qual é a desvantagem do forno cubilô?

d) Qual o tipo de forno usado quando se deseja obter um ferro fundido de melhor qualidade?

Tipos de ferro fundido

O ferro fundido é o que chamamos de uma **liga ternária**. Isso quer dizer que ele é composto de três elementos: ferro, carbono (2 a 4,5%) e silício (1 a 3%). Existe ainda o ferro fundido ligado, ao qual outros elementos de liga são acrescentados para dar alguma propriedade especial à liga básica.

Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado ou tratado termicamente, o ferro fundido será **cinzento**, **branco**, **maleável** ou **nodular**. O que determina a classificação em cinzento ou branco é a aparência da fratura do material depois que ele resfriou. E essa aparência, por sua vez, é determinada pela forma como o carbono se apresenta depois que a massa metálica solidifica. E ele se apresenta sob duas formas: como cementita (Fe_3C) ou como grafita, um mineral de carbono usado, por exemplo, na fabricação do lápis.

Assim, no **ferro fundido cinzento**, o carbono se apresenta sob a forma de grafita, em flocos ou lâminas, que dá a cor acinzentada ao material. Como o silício favorece a decomposição da cementita em ferro e grafita, esse tipo de liga ferrosa apresenta um teor maior de silício (até 2,8%). Outro fator que auxilia na formação da grafita é o resfriamento lento.

Os ferros fundidos cinzentos apresentam boa usinabilidade e grande capacidade de amortecer vibrações. Por causa dessas

características, são empregados nas indústrias automobilística, de equipamentos agrícolas e de máquinas e, na mecânica pesada, na fabricação de blocos e cabeçotes de motor, carcaças e platôs de embreagem, suportes, barras e barramentos para máquinas industriais.

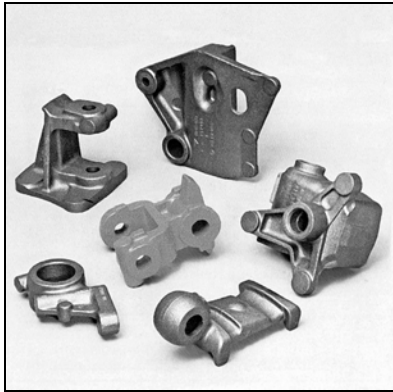
O **ferro fundido branco** é formado no processo de solidificação, quando não ocorre a formação da grafita e todo o carbono fica na forma de carboneto de ferro (ou cementita). Daí, sua cor clara. Para que isso aconteça, tanto os teores de carbono quanto os de silício devem ser baixos e a velocidade de resfriamento deve ser maior. Nos ferros fundidos brancos ligados, elementos como o cromo, o molibdênio e o vanádio funcionam como estabilizadores dos carbonetos, aumentando a dureza.

Por causa da elevada dureza, os ferros fundidos brancos são frágeis, embora tenham uma grande resistência à compressão, ao desgaste e à abrasão. Essa resistência e dureza se mantêm mesmo em temperaturas elevadas. Por isso, esse tipo de material ferroso é empregado em equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem, rodas de vagões e revestimentos de moinhos.

O **ferro fundido maleável** é um material que reúne as vantagens do aço e as do ferro fundido cinzento. Assim, ele tem, ao mesmo tempo, alta resistência mecânica e alta fluidez no estado líquido, o que permite a produção de peças complexas e finas.

O ferro fundido maleável é produzido a partir de um ferro fundido branco submetido a um tratamento térmico, por várias horas, que torna as peças fabricadas com esse material mais resistentes ao choque e às deformações. Dependendo das condições do tratamento térmico, o ferro pode apresentar o núcleo preto ou branco.

O ferro fundido maleável de núcleo **preto** (ou americano) passa por um tratamento térmico em atmosfera neutra, em que a cementita se decompõe em ferro e carbono e, no qual, o carbono forma uma grafita compacta, diferente da forma laminada dos ferros fundidos cinzentos. Ele é usado para a fabricação de

suportes de molas, caixas de direção, cubos de rodas, bielas, conexões para tubulações hidráulicas e industriais.

O ferro fundido maleável de núcleo **branco** passa por um tratamento térmico, em atmosfera oxidante, no qual o carbono é removido por descarbonetação, não havendo formação de grafita. Por causa disso, ele adquire características semelhantes às de um aço de baixo carbono e pode ser soldado. É um material indicado para a fabricação de barras de torção, corpos de mancais, flanges para tubos de escapamento.

Finalmente, temos o **ferro fundido nodular**, cuja estrutura apresenta partículas arredondadas de grafita. Isso é obtido com a adição de elementos, como o magnésio, na massa metálica ainda líquida. Com o auxílio de tratamentos térmicos adequados, esse material pode apresentar propriedades mecânicas, como a ductilidade, a tenacidade, a usinabilidade e as resistências mecânica e à corrosão, melhores do que as de alguns aços-carbono.

Por causa disso e do menor custo de processamento, está substituindo alguns tipos de aços e os ferros fundidos maleáveis na maioria de suas aplicações. Mancais, virabrequins, cubos de roda, caixas de diferencial, peças de sistema de transmissão de automóveis, caminhões e tratores são produtos fabricados com o ferro fundido nodular. Essas informações estão reunidas no quadro a seguir:

Tipo de ferro fundido	Propriedades	Produtos
Ferro fundido cinzento	Boa usinabilidade. Capacidade de amortecer vibrações.	Blocos e cabeçotes de motor, carcaças e platôs de embreagem, discos e tambores de freio; suportes, bases e barramentos de máquinas industriais.
Ferro fundido branco	Dureza e fragilidade. Elevada resistência à compressão. Resistência ao desgaste e à abrasão.	Equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem; rodas de vagões; revestimentos de moinhos.
Ferro fundido maleável (preto ou branco)	Alta resistência mecânica e alta fluidez no estado líquido. Resistência ao choque e às deformações.	Suportes de molas, caixas de direção, cubos de roda; conexões para tubulações hidráulicas e industriais; suportes de barras de torção, copos de mancais, flanges para tubos de escapamento.
Ferro fundido nodular	Ductilidade, tenacidade, usinabilidade. Resistência mecânica e à corrosão.	Mancais, virabrequins, caixas de diferencial, carcaças de transmissão, caixas satélites para automóveis, caminhões e tratores.

Os produtos de ferro fundido, assim como os de aço, e de qualquer outro tipo de material, são normalizados, ou seja, seguem as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Nos catálogos, esses produtos são apresentados de acordo com designações ou especificações dessas normas. É um assunto tão importante que você vai estudá-lo em uma outra aula.

Você deve se lembrar, também, que as propriedades dos ferros fundidos em particular e de outros metais, em geral, são melhoradas não só com a adição de elementos de liga, mas também por meio de tratamento térmico, ou seja, um tratamento em que o metal é aquecido e resfriado sob condições controladas. Esse tipo de tratamento interfere na estrutura do material. É um assunto também bastante importante e complexo. Para ele, nós reservamos um módulo inteirinho do Telecurso Profissionalizante. Aguarde! Por enquanto, dê uma parada para estudar.

Para parar e estudar

Um profissional da área de mecânica precisa conhecer os materiais dos quais são feitos os produtos que ele ajuda a fabricar. Então, agora você vai dar mais uma parada para estudar os tipos de ferros fundidos à disposição do mecânico. Estude com atenção e, depois, faça os exercícios.

Exercícios

3. Preencha as lacunas:

a) O ferro fundido é composto de três elementos: ...., ... e .... Portanto, ele é considerado uma liga .....

b) Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado e tratado termicamente, o ferro fundido pode ser ...., ..., ... ou ....

c) O que determina a classificação do ferro fundido em cinzento ou branco é .... do material depois de resfriado.

d) A cor do ferro fundido cinzento é devida ao carbono que se apresenta na forma de .... ou ....

e) Durante o processo de solidificação, quando não ocorre a formação de .... e todo o car-

bono fica na forma de carboneto de ferro ou ....
..................., forma-se o ferro fundido ....

f) O ferro fundido ...., é um material que reúne algumas das vantagens do .... e do ferro fundido cinzento.

g) As peças fabricadas com ferro fundido maleável são mais resistentes ao .... e às ....

h) O ferro fundido maleável de núcleo .... é indicado para a fabricação de barras de torção e corpos de mancais.

Avalie o que você aprendeu

4. Resolva as seguintes questões:

a) O ferro fundido, utilizado na fabricação de peças que não sofrerão grandes esforços, é produzido no forno cubilô. Diga por quê.

b) Cite algumas características que justifiquem o uso do ferro fundido cinzento nas indústrias automobilística, de equipamentos agrícolas e de máquinas industriais.

c) Descreva algumas qualidades do ferro fundido branco e onde ele é empregado.

d) Quais as vantagens do uso do ferro fundido maleável?

e) Como se transforma gusa em ferro fundido e onde acontece essa transformação?

5. Relacione a coluna **A** com a coluna **B**:

Coluna A	**Coluna B**
a) ( ) Ferro fundido cinzento.	**1.** Suportes de molas; conexões para tubulações hidráulicas.
b) ( ) Ferro fundido branco.	**2.** Equipamentos de manuseio de terra e para mineração.
c) ( ) Ferro fundido maleável.	**3.** Amortecer vibrações.
d) ( ) Ferro fundido nodular.	**4.** Substitui alguns tipos de aço e os ferros fundidos maleáveis.

Gabarito

1. **a)** 4
b) 3
c) 1

2. **a)** Forno elétrico e forno cubilô.
b) Separar impurezas: calcário - combustível: coque.
c) Não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal.
d) Fornos elétricos.

3. **a)** ferro, carbono e silício - ternária.
b) cinzento, branco, maleável ou nodular.
c) aparência da fratura
d) grafita ou lâminas.
e) grafita - cementita - branco.
f) maleável - aço
g) choque - deformações.
h) branco

4. **a)** Esse tipo de forno não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal.
b) Boa usinabilidade e grande capacidade de amortecer vibrações.
c) Grande resistência à compressão, ao desgaste e à abrasão e é empregado em equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem, rodas de vagões etc.
d) Pode ser soldado, tem alta resistência mecânica, resistência ao choque e a deformações.
e) Separando-se as impurezas, utilizando-se os fornos elétricos e o forno cubilô.

5. **a)** 3
b) 2
c) 1
d) 4

As normas técnicas foram criadas para facilitar a vida dos consumidores e dos fabricantes. Elas são as responsáveis por uma coisa muito importante chamada **normalização**.

A normalização permite que uma empresa montadora de veículos, por exemplo, produza automóveis com peças fabricadas pelos mais diferentes fabricantes, até de outros países.

Permite, também, que você possa, com facilidade, repor qualquer peça de qualquer produto que você compre.

Isso é importante, quando se está projetando um novo produto: as normas vão dizer, para o grupo envolvido nesse trabalho, se as matérias-primas com as características e propriedades que eles necessitam já são fabricadas. E eles vão descobrir isso consultando catálogos.

Os catálogos de fabricantes descrevem sempre seus produtos em termos de conformidade com as normas técnicas, em vigor em nosso país. E, mesmo que sua função em uma indústria mecânica não envolva decisões, como a escolha de um material para um novo produto, é importante aprender a manusear catálogos e manuais técnicos.

Na verdade, os manuais nos ensinam muito e, se você deseja ser um bom profissional de Mecânica, deve se disciplinar no sentido de estar sempre atualizado com o que está acontecendo em sua área. Isso, certamente, inclui a leitura de catálogos.

Além disso, quem garante que um dia desses você não poderá se transformar em um microempresário de sucesso? Certamente, nesse caso, você terá nos catálogos uma das melhores fontes de informações técnicas a sua disposição.

Então, usando o aço e o ferro fundido como exemplo, vamos, nesta aula, mostrar como eles são classificados em termos de normas técnicas. E vamos mostrar como isso aparece nos catálogos dos fabricantes. Fique atento para as dicas.

Aço 1020. O que é isso?

Quem trabalha na produção, em uma indústria mecânica, faz seu trabalho de acordo com instruções escritas em um impresso chamado geralmente de **ordem de serviço.**

Em uma ordem de serviço, normalmente, estão informações como o desenho da peça, com suas dimensões e o material com o qual ela deve ser fabricada.

É na informação sobre o material que aparecem números como 1020 e que a gente lê "mil e vinte". E como será que esse número surgiu?

Bem, existem várias maneiras de classificar qualquer produto e com o aço não é diferente. Ele pode ser classificado por exemplo:

a) Pela forma do produto semi-acabado: chapas, barras, laminados etc.

b) Pelo processo de acabamento: aços laminados a quente, a frio, aços fundidos, forjados etc.

c) Pelo tipo de procedimento de desoxidação: aço acalmado, aço semi-acalmado etc.

d) Pelo tipo de aplicação (a mais complexa, por causa da grande variedade): aços para tratamento térmico, aços para componentes específicos (molas, engrenagens, trilhos etc.), aços para tipos de processos de fabricação (aços de fácil usinagem, aços de fácil conformação etc.).

e) Pela composição química, ou seja, pelo teor de carbono ou teor do elemento de liga presentes no aço.

Você encontra todas essas informações nos catálogos dos fabricantes. Porém, em geral, a informação que mais interessa e que mais diz sobre o aço é a classificação pela composição química, que fala da quantidade de carbono ou de elementos de liga dentro desse metal.

Como já estudamos, são essas quantidades que determinam as propriedades e utilizações de cada material.

Esse tipo de informação é padronizado pelo norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 6006, que, por sua vez, é uma reunião das normas estabelecidas pela AISI (American Iron and Steel Institute, que quer dizer, Instituto Americano do Ferro e do Aço) e pela SAE (Society of Automotive Industry, ou seja, Sociedade da Indústria Automotiva).

Em função da composição química, os aços são classificados por meio de um número, de quatro ou cinco dígitos, no qual cada dígito tem a função de indicar uma coisa. Veja a tabela da próxima página, que é baseada nas normas estabelecidas pela ABNT (NBR 6006).

Tipo	Classe	Designação	Teor aproximado dos elementos que identificam as classes
Aços-carbono	10XX	Carbono	Mn - máximo 1,00%
	11XX	Ressulfurado	--------------------------------------
	12XX	Ressulfurado e refosfatado	--------------------------------------
	14XX	Aço com adição de nióbio	Nb 0,10%
	15XX	Carbono	Mn entre 1,00 e 1,65%
Aços-liga	13XX	Manganês	Mn - 1,75%
	23XX	Níquel	Ni - 3,5%
	31XX	Níquel-cromo	Ni - 1,25% e Cr - 0,69%
	41XX	Cromo-molibidênio	Cr - 0,50, 0,80 e 0,95%
	43XX	Cromo-níquel-molididênio	Ni - 1,8%, Cr - 0,50 a 0,80 e Mo - 0,25%
	50XX	Cromo	Cr - 0,27%, 0,40%, 0,50% e 0,65%
	61XX	Cromo-vanádio	Cr - 0,60%, 0,80%, 0,95% e 1.05% V - 0,10% ou 0,15% min
	86XX	Cromo-níquel molibdênio	Cr - 0,50%, Ni - 0,55% e Mo - 0,20%
	92XX	Silício	Si - 2,00% e Mn - 0,85%
Aços com adições especiais	XXBXX	Aço com adição de boro	--
	XXLXX	Aço com adição de chumbo	--

Os dois primeiros dígitos indicam o grupo ao qual o aço pertence. Isso está relacionado com a presença de elementos de liga como o manganês, o fósforo e o enxofre. Isso quer dizer que:

- aços 10XX contêm até 1,00% de manganês;
- aços 11XX contêm enxofre (aços de fácil usinagem);
- aços 12XX contêm enxofre e fósforo (aços de fácil usinagem);
- aços 13XX contêm 1,75% de manganês;
- aços 14XX contêm nióbio;
- aços 15XX contêm entre 1,00 e 1,65% de manganês.

Os dois últimos dígitos indicam a porcentagem de carbono presente no aço. Isso quer dizer que o número 1020, que demos como exemplo, é um aço-carbono, com até 1% de manganês e 0,20% de carbono. Um número 1410 indica, então, que se trata de um aço-carbono, com adição de nióbio e de 0,10% de carbono.

Os aços-liga também são identificados por um número de quatro dígitos: os dois primeiros indicam os elementos de liga predominantes nos aços. Por exemplo: 23 indica ligas com níquel, 31 indica ligas de níquel e cromo, e assim por diante. Os dois últimos dígitos indicam a porcentagem do teor de carbono.

Parece complicado? Vamos a um exemplo: o número 4150 indica um aço cromo-molibdênio com um teor de 0,50% de carbono.

Para você que é aluno, o importante desse assunto é saber que os aços (e todos os outros tipos de materiais ferrosos ou não-ferrosos) são normalizados, quer dizer, não se pode "inventar" um "nome" qualquer para eles. Isso ajuda todos os consumidores a falarem a mesma linguagem. Assim, se você for comprar um aço 1020, o vendedor saberá exatamente do que você está falando. Da mesma forma, você saberá exatamente o que está comprando.

Outra coisa importante e que você deve guardar é a codificação de cada grupo de ligas. Isso quer dizer, por exemplo, que se alguém disser 4340, você já sabe que se trata de um aço-liga ao cromo-níquel-molibdênio.

Para parar e estudar

Vamos então parar um pouco para que você estude e aprenda mais.

Exercícios

1. Identifique os aços cuja designação normalizada pela ABNT apresentamos a seguir. Escreva o tipo do aço a que pertence e seu teor de carbono.

- **a)** 1045 ....
- **b)** 1541 ....
- **c)** 1330 ....
- **d)** 4135 ....
- **e)** 5016 ....
- **f)** 8615 ....

2. De acordo com o que você estudou até aqui, responda:

- **a)** Se você precisasse escolher um aço para fabricar uma peça por dobramento e tivesse a sua disposição um aço 1020, um aço 1040 e um aço 1060, qual deles você escolheria para a execução do trabalho? Por quê?
- **b)** Você é um microempresário e sua empresa fabrica engrenagens. Dos aços indicados a seguir, qual você escolheria para a fabricação de seus produto? Por quê?
  - **a)** ( ) 1006
  - **b)** ( ) 1132
  - **c)** ( ) 9210
  - **d)** ( ) 4320

O ferro fundido tem norma?

Claro que tem! Como já dissemos na outra parte da lição, todos os materiais são normalizados. E você deve se lembrar, também, que os aços são classificados de acordo com sua composição química, ou seja, teor de carbono e quantidade de elementos de liga.

Nós também já estudamos que o ferro fundido pode ser branco, cinzento, nodular e maleável. Diferentemente do aço, cuja composição química é usada para fins de designação normalizada, a norma para o ferro fundido apresenta números que se referem a dados correspondentes a suas propriedades: resistência à tração, e ao alongamento e limite de escoamento. Esses números foram obtidos a partir de ensaios ou testes feitos com instrumentos especiais.

Assim, os ferros fundidos cinzentos são classificados pela norma NBR 6589, de acordo com seus limites de resistência à tração. A classificação é codificada por duas letras e um número de três dígitos: FC-XXX. Nela, as letras FC indicam o ferro cinzento e o número indica a resistência à tração em MPa. Veja tabela abaixo.

Tipos	MPa
FC-100	100
FC-150	150
FC-200	200
FC-250	250
FC-300	300
FC-400	400

MPa é a abreviatura de m*ega pascal*, que é um múltiplo da unidade pascal (Pa). Assim, 10 MPa equivalem a 1kgf/mm^2.

Por exemplo: um ferro fundido FC-200 é um ferro fundido cinzento, com 200 MPa (20 kgf/mm^2) de resistência à tração.

O ferro fundido nodular é designado por um conjunto de duas letras e um número de cinco dígitos, no qual os três primeiros algarismos indicam a resistência à tração em MPa e os dois últimos, a porcentagem de alongamento. Segundo a norma NBR 6916, o ferro fundido nodular é classificado nos seguintes tipos: FE 38017, FE 42012, FE 50007, FE 60003, FE 70002, FE 80002.

Isso significa que, um ferro fundido FE 50007 é um ferro fundido nodular, com 500 MPa de resistência à tração e com 7,0% de alongamento mínimo.

O ferro fundido maleável de núcleo preto é normalizado pela NBR 6590. Sua designação é composta por três letras e cinco dígitos, dos quais os três primeiros indicam a resistência à tração em

MPa e, os dois últimos, indicam a porcentagem de alongamento: FMP 30006, FMP 35012, FMP 45007, FMP 50005, FMP 55005, FMP 65003, FMP 70002.

Assim, um ferro fundido FMP 55005, é um ferro fundido maleável de núcleo preto com 550 de limite de resistência à tração e 5% de porcentagem mínima de alongamento.

Os ferros fundidos maleáveis de núcleo branco são normalizados pela NBR 6914 e são designados por um conjunto de quatro letras e cinco dígitos, seguindo o mesmo critério dos ferros fundidos maleáveis de núcleo preto: FMBS 38012.

Para parar e estudar

A normalização não é uma coisa complicada. Basta aprender o princípio, porque funciona tudo sempre mais ou menos do mesmo jeito. Vamos, então, estudar um pouquinho sobre as designações normalizadas para o ferro fundido, e depois é só fazer o exercício.

Exercícios

3. Relacione uma coluna com a outra, de acordo com o tipo de ferro fundido:

Coluna A	**Coluna B**
a) ( ) Ferro fundido cinzento	**1.** FMBS
b) ( ) Ferro fundido maleável preto	**2.** FC
c) ( ) Ferro fundido maleável branco soldável	**3.** FMP
d) ( ) Ferro fundido nodular	**4.** FE

4. Responda: qual o limite de resistência à tração dos seguintes tipos de ferros fundidos:

1. FE 55006..
2. FMP 55005...
3. FC 250..
4. FMBS 38012 ....

Uma ferramenta de papel

Quando você pensa em indústria mecânica, com certeza pensa em grandes máquinas, ferramentas, tudo feito de metal. Mas, para o profissional, existe uma ferramenta de papel que é indispensável. Não é maluquice, não! Ela ajuda você de modo que não seja preciso “decorar” todas essas designações dadas pelas normas e sobre as quais acabamos de falar. Estamos falando dos catálogos dos fabricantes de materiais.

É claro! Nos livros, você aprende a teoria. Porém, o desenvolvimento da tecnologia é tão rápido, que você não consegue quase acompanhar.

Além disso, os livros são caros e a gente não tem condições de estar comprando livros a toda hora!

Uma saída para isso são as revistas especializadas que ficam muito mais baratas. Nelas, você tem um resumo do que está acontecendo e exemplos da aplicação das teorias. Outra, melhor ainda, porque você não paga nada por ela, é o catálogo do fabricante. Em um catálogo, você tem informações atualizadíssimas sobre produtos e materiais que estão disponíveis no mercado, para que você realize bem o seu trabalho.

E como essa ferramenta auxilia o profissional? Bem, o profissional desse fim de século vê-se cercado de uma quantidade cada vez maior de informações que ele precisa dominar. Só que não há necessidade e nem tempo de guardar tudo isso na cabeça.

A saída e a grande diferença entre o profissional atualizado e o “outro”, é saber onde procurar a informação. No catálogo, você tem tudo o que precisa, muito bem organizado e sintetizado. As informações são facilmente encontradas e facilmente consultadas.

Que tipo de informações? Relação de produtos, especificações - como peso, dimensões e formatos -, aplicações, composição química, temperaturas de trabalho, processos de fabricação compatíveis com o material, dados para cálculos, equivalência entre normas técnicas de diversos países: uma verdadeira aula sobre qualquer material que você queira usar.

A quantidade de informação, todavia, vai depender da empresa: algumas têm catálogos com mais informações, outras os produzem com menos detalhes. Tudo depende do objetivo que a empresa quer alcançar com essas informações, e do tipo de produto fabricado. Existem produtos tão simples que o próprio consumidor não tem necessidade de muita informação.

Recordar é aprender

Como você já estudou no Módulo sobre Normalização, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é responsável pelas normas técnicas vigentes no Brasil. Todos os países têm organizações parecidas com esta. Alguns, por serem mais industrializados e mais desenvolvidos, têm suas normas conhecidas e usadas mundialmente. É o caso da Alemanha (DIN), dos Estados Unidos (SAE, ASI, ASTM), da Inglaterra (BSI), da França (AFNOR) e do Japão (JIS). Existem, também, organizações internacionais que procuram unificar as várias normas. É o caso da ISO, que tem um papel muito importante na garantia da qualidade dos produtos nos mercados globalizados.

Não se esqueça, porém, de que essas informações, para serem verdadeiramente úteis, precisam de um conhecimento anterior, que é o que estamos tentando dar a você neste livro.

Só quem domina o vocabulário técnico tem condições de aproveitar as informações de um catálogo. Vamos reforçar também o fato de que os catálogos servem como fonte de informação sobre qualquer tipo de produto ou material, inclusive os que ainda vamos estudar nas próximas aulas.

Com esta aula, a gente termina o estudo dos materiais ferrosos. Quer dizer, só o estudo. Porque o assunto não tem fim. Por isso, procure sempre ler mais: livros, revistas, catálogos. No começo é difícil, mas depois, você pega o jeito e aí ninguém mais vai segurá-lo. Na próxima aula, vamos estudar um pouco sobre o impacto que a produção de metais ferrosos causa ao ambiente. É um assunto sobre o qual devemos pensar com carinho. Por enquanto, estude e faça os exercícios a seguir.

Para parar e estudar

Catálogo, a gente aprende a usar manuseando. Como não é possível fornecer um catálogo para cada estudante do Telecurso 2000 Profissionalizante, vamos fazer um exercício com informações retiradas de um catálogo de fabricante de ferro fundido. Mas, você que é esperto, vai ficar de olho e procurar arranjar alguns para saber como eles são. Um lugar onde se consegue isso é em feiras técnicas do tipo Feira de Mecânica, de Máquinas e de Equipamentos. Visite uma, você vai gostar.

Exercício

5. A seguir, você tem a reprodução de uma página de catálogo. Estude os dados presentes nela e diga que tipo de informações esses dados estão fornecendo.

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL PRETO

MATERIAIS ABNT							CLASSES CORRESPONDENTES EM NORMAS DE OUTRAS ENTIDADES						
CLASSE NBR 6590	PROPRIEDADES MECÂNICAS (1)				ESTRUTURA PREDOMINANTE		ISO		DIN	ASTM			SAE
	Limite de Resist. Tração (mínima) MPa	Limite de Escoamento em 0,2% (min.) MPa	Alongamento em 3d (min.) %	Dureza Brinell Faixa aprox. HB			R 493	R 944	1692	A 47	A 220	A 602	J 158a
FMP30006	300	—	6	156 Máx.	Ferrítica		Grade C	—	—	—	—	—	—
FMP35012	350	200	12	156 Máx.	Ferrítica		Grade B Grade A	—	GTS 35	32510	—	M 3210	M 3210
FMP45007	450	300	7	149 - 207	Ferrítica Perlítica		—	Grade E	GTS 45	—	45006	M 4504	M 4504
FMP50005	500	330	5	170 - 229	Perlítica		—	Grade D	—	—	50005	M 5003	M 5003
FMP55005	550	360	5	187 - 241	Perl. ou Mart. Rev.		—	Grade C	GTS 55	—	60004	M 5503	M 5503
FMP65003	650	430	3	207 - 255	Perl. ou Mart. Rev.		—	Grade B	GTS 65	—	70003	M 7002	M 7002
FMP70002	700	550	2	241 - 295	Perl. ou Mart. Rev.		—	Grade A	GTS 70	—	80002	—	—

Gabarito

1. **a)** 1045 - Aço-carbono com 0,45% de C.
   b) 1541 - Aço-carbono com 1,00 e 1,65% de manganês e 0,41% de C.
   c) 1330 - Aço-carbono com 1,75% de manganês e 0,30% de C.
   d) 4135 - Aço ao cromo molibdênio com 0,35% de C.
   e) 5016 - Aço ao cromo com 0,16% de C.
   f) 8615 - Aço ao cromo, níquel e molibdênio com 0,15% de C.

2. **a)** 1020 - Por ser um material bastante maleável e dúctil, ou seja, fácil de dobrar.
   b) 4320 - Por atender às necessidades de construção para esse tipo de peça (resistência mecânica, temperabilidade, ductibilidade etc.).

3. **a)** 2
   b) 3
   c) 1
   d) 4

4. **1.** - 550 MPa
   2. - 550 MPa
   3. - 250 MPa
   4. - 380 MPa

5. A página apresenta: tipo de material; número da norma brasileira de padronização; dados de propriedades mecânicas; normas correspondentes de outros países.

A siderurgia é, sem dúvida, a espinha dorsal que sustenta a produção industrial dos países mais desenvolvidos. A produção e o consumo de metais ferrosos - aço e ferro fundido - é um dado muito importante que mede a saúde econômica e o grau de desenvolvimento desses países.

Com certeza, você deve estar curioso para saber em que medida o Brasil faz parte desse “seleto clube” dos produtores de aço. Nós não estamos mal. O setor siderúrgico brasileiro compõe-se de 36 empresas produtoras de aço, das quais:

- 13 são usinas integradas, ou seja, operam todas as fases do processo de produção do aço - preparação, redução, refino e conformação.
- 21 são semi-integradas, ou seja, processam sucata, gusa ou ferro-esponja, nas fases de refino e conformação.
- 2 são não-integradas, ou seja, operam apenas a fase de redução.

O dado mais recente, fornecido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) sobre a produção nacional de aço, indica 24 milhões de toneladas em 1992, o que nos coloca entre os sete maiores produtores de aço do mundo. Uau!

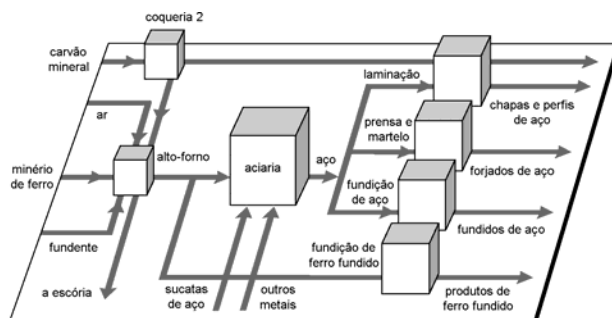
Só que isso tem um preço, em termos de prejuízo ao ambiente. Porque, da mesma forma que a siderurgia é um indicador de progresso econômico e tecnológico, é também, inegavelmente, um enorme gerador de problemas ambientais. Cubatão está aí, para ninguém dizer que é invenção ou exagero.

Os impactos no ambiente acontecem nas várias fases do processo, desde o transporte, manuseio e preparação da matéria-prima, passando por sua transformação em produtos finais, até a destinação que se dá aos diversos resíduos que resultam dessas várias etapas de produção.

“Puxa! A gente pensando que o Brasil estava virando um país desenvolvido e vem essa história de poluição para estragar tudo!” É, mas ser desenvolvido é, também, preocupar-se com o ambiente. E pensar no ambiente que nos cerca, é mais do que um assunto da moda. É refletir sobre o ar que respiramos, a água que bebemos, o alimento que comemos. Porque tudo o que mexe com o ambiente, mexe com essas coisas que estão diretamente ligadas a nossa sobrevivência.

Por isso, nesta lição, vamos falar sobre os impactos da indústria siderúrgica no ambiente. Gostaríamos que você pensasse e conversasse sobre isso com seus colegas, porque é um assunto que afeta diretamente a qualidade de vida de todos nós.

Onde está a poluição

Na apresentação desta aula, falamos sobre os diversos tipos de usinas siderúrgicas que existem em nosso país. Só para recordar, observe a ilustração a seguir:

Nela, estão representados, esquematicamente, todos os setores de uma usina integrada: a coqueria, onde se produz o coque a partir do carvão mineral; o alto-forno, onde se produz o gusa; a aciaria, onde se produz o aço; e os setores de laminação, forjamento e fundição, locais onde se fabricam os produtos semi-

acabados (chapas, perfis, tubos). Não se esqueça de que o minério de ferro também passa por processo de beneficiamento pela pelotização e sinterização.

Nesse imenso complexo industrial, a poluição está por toda a parte, em todas as etapas do processo e envolve poluição do ar, da água e do solo.

A poluição do ar acontece no beneficiamento do minério (sinterização), na coqueria, no alto-forno e, em menor escala, nas áreas de fabricação de produtos semi-acabados, em função dos combustíveis e do processo de queima nos fornos.

Os poluentes emitidos estão na forma de material em pequenas partículas (pó) e na forma de gases, como óxido de nitrogênio, óxido de enxofre e monóxido de carbono.

Para o controle de emissão de partículas, usam-se lavadores, filtros e precipitadores eletrostáticos, que retêm as partículas de poeira por meio de um campo magnético criado por corrente elétrica. Pilhas de matérias-primas deixadas em locais abertos são umedecidas com **água industrial**, para evitar que os resíduos sejam espalhados pelo vento.

Água industrial é a água que foi usada, anteriormente, em alguma etapa do processo de fabricação.

Flotação é o processo empregado em mineração para separar os componentes de uma mistura sólido-sólido. Usa um agente de flotação (por exemplo, óleo) que se mistura com o elemento que se quer separar (por exemplo, um sulfeto). Essa mistura é colocada em água e submetida a um forte sopro de ar, que provoca a união das partículas que dão origem a uma espuma que flutua e se separa da ganga (geralmente formada de areia).

Decantação é um processo de separação, em um sistema heterogêneo sólido-líquido (areia com água), sólido-gasoso (ar e poeira) ou líquido-líquido (água é óleo), no qual o componente mais denso se deposita naturalmente sob a ação da gravidade.

O controle de emissão de óxido de enxofre é feito com a utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, como óleos BTE e gás natural. Um rigoroso controle nos processos de combustão reduz sensivelmente as emissões de óxidos de nitrogênio.

A água é necessária e extensivamente usada em uma usina siderúrgica. Basta dizer que são necessários até 250 m^3 de água para a produção de uma tonelada de aço.

Os efluentes hídricos, ou seja, a água que resulta dos processos siderúrgicos apresentam sólidos em suspensão, óleos, graxas, fenóis, sulfetos e cianetos. Esses vários tipos de agentes poluidores são gerados em função do processo e das etapas de produção.

Como a água é tão necessária como o minério, o coque e os elementos de liga, uma usina siderúrgica apresenta altos índices de recirculação da água, ou seja, a água é reaproveitada e, para isso, precisa ser tratada.

Dependendo do tipo de agente poluidor, usa-se determinada técnica de tratamento que pode ser, entre outras: **resfriamento**, **decantação**, **flotação**, **neutralização**, **remoção biológica** e **redução química**.

Uma usina siderúrgica gera de 500 a 700 kg de resíduos por tonelada de aço produzido. Tudo isso pode fazer um estrago danado se for simplesmente deixado em contato com o solo.

Além disso, simplesmente "jogá-los fora" é um grande desperdício, já que esses resíduos têm um alto valor econômico. Eles têm composição variada e são geralmente reciclados durante o próprio processo. Podem também ser vendidos a terceiros e, quando não tem jeito mesmo, passam por diversos tipos de tratamento, para que possam ser deixados em contato com o solo de forma segura.

Fique por dentro

Os cuidados no tratamento dos resíduos do processo siderúrgico devem estar de acordo com as exigências de leis estaduais. A responsabilidade da fiscalização do cumprimento dessas leis é de

órgãos estaduais, como Cetesb, em São Paulo e Feema, no Rio de Janeiro.

Como você pode ver, do ponto de vista da empresa, o reaproveitamento dos resíduos do processo siderúrgico, sejam eles gasosos, líquidos ou sólidos, além de uma preocupação de atendimento às exigências da legislação que protege o ambiente, é também uma questão de ordem econômica.

Portanto, esse tipo de cuidado só pode trazer benefícios, tanto para a empresa quanto para a comunidade a sua volta.

Para parar e estudar

Quando a gente fala de ambiente, essa questão é mais de conscientização do que de aprender o que é isso ou aquilo. Por isso, vamos propor uma atividade que vai fazer você conversar sobre o assunto, pensar e decidir o que é certo ou errado. Vamos lá?

Exercício

1. Vamos reproduzir, a seguir, um trecho de uma notícia do jornal Gazeta Mercantil, edição de 11 de agosto de 1994, página 16. Leia-o com cuidado, discuta-o com os colegas até perceber que entendeu tudo direitinho. Depois responda as questões.

A CSN implantou neste ano, em sua unidade de Volta Redonda (RJ), processo de desidratação, voltado para o reaproveitamento dos rejeitos de lamas industriais, originários da estação de tratamento de águas da usina. As lamas liberadas contêm 50% de pó de minério de ferro, que passou a ser utilizado no processo de sinterização.

a) O que é a CSN? (Isso você viu em aulas anteriores. Se não se lembra volte lá e descubra.)

b) O que ela está fazendo com a lama industrial?

c) A CSN está ganhando ou perdendo com isso? Justifique sua resposta.

E o trabalhador, como fica?

Se o ambiente de uma siderurgia é tão poluidor, certamente você deve estar preocupado: e o trabalhador, como é que fica? Sem sombra de dúvida, as condições de trabalho nessas usinas o expõem ao que chamamos de riscos ambientais, ou seja, riscos que o trabalhador corre por ter que ficar em ambientes com muito pó, altas temperaturas, muito ruído, ou manuseando produtos perigosos para sua saúde. E, como se viu, isso é o que não falta na usina siderúrgica.

Por exemplo, o ruído se origina nos equipamentos usados no processo siderúrgico, como os laminadores e o alto-forno; e nas operações de transporte e manuseio de materiais e produtos. Ele pode causar danos ao sistema auditivo, diminuindo a capacidade de ouvir e, mesmo, provocando a surdez.

Para tornar esse problema menos grave, empregam-se sistemas de silenciadores e abafadores de ruídos, equipamentos de proteção individual (como os protetores auriculares, isto é, protetores de ouvido), ou instalam-se cabines com isolamento acústico, onde for possível.

Na fundição, a manipulação da areia usada nos moldes gera poeira de sílica, que causa uma doença incurável que se chama silicose. Essa doença provoca enrijecimento dos tecidos dos pulmões e, a longo prazo, acaba provocando a morte. Para diminuir o problema, o local deve ser bem arejado e ventilado e o operador deve usar a única proteção possível: as máscaras que filtrem a sílica.

O setor de coqueria produz gases tóxicos, que causam uma doença chamada leucopenia, que é a redução dos leucócitos, ou seja, dos glóbulos brancos que existem no sangue. Para proteger os operadores, esse setor deve ter captores de gases e ventilação diluidora constante. Os operadores devem usar máscaras com filtros especiais e passar por exames médicos e de laboratório, que precisam ser freqüentes.

Junto ao alto-forno, além do ruído, existe o problema das altas temperaturas, cuja principal conseqüência é a desidratação. Por isso, os operadores devem usar: capacete, roupas e luvas de amianto, protetor facial, óculos escuros, botas com sola de madeira e protetores auriculares. Além disso, eles têm direito a períodos de descanso, durante sua jornada de trabalho, em locais que não sejam quentes. Podem, também, por orientação médica, ingerir comprimidos de sais minerais, para compensar as perdas ocasionadas pelo calor excessivo.

Isso tudo é determinado e fiscalizado pelo Ministério do Trabalho, porque, como você vê, todo o cuidado é pouco para que as pessoas não sofram as conseqüências da hostilidade do ambiente em que trabalham. Isso vale para qualquer tipo de empresa. E vale para você também: equipamento de segurança não é fantasia para fiscal ver, não. Porque como diz o Barrichello: "Sem essa, que é duro e que aperta. Fique certo de que o gesso aperta muito mais!".

Para parar e estudar

Saúde, higiene e segurança no trabalho é um assunto sobre o qual cada trabalhador deve estar muito atento. No exercício que preparamos, você vai apenas discutir esse assunto com seus colegas de trabalho, com os colegas do Telecurso, ou com seus amigos.

Exercício

2. O tema a seguir é para você discutir:

Em 11 de agosto de 1995, o jornal A Folha de S. Paulo publicou uma matéria sobre produção de carvão vegetal usado na fabricação de ferro-gusa. Vamos reproduzir um trecho.

As indústrias siderúrgicas que produzem ferro-gusa em Minas Gerais são as principais beneficiárias da exploração irregular de mão-de-obra nas carvoarias do norte do estado... Na última semana, uma equipe de fiscalização do Ministério do Trabalho autuou nove siderúrgicas e 11 empreiteiros de mão-de-obra por desrespeito a leis trabalhistas na produção de carvão vegetal, utilizado no processo de redução do ferro-gusa Uma das irregularidades constatadas foi a exploração de mão-de-obra infantil nos fornos em que toras de madeira são transformadas em carvão... Também foram encontrados carvoeiros sem máscaras, luvas e outros equipamentos de proteção.

Responda:

a) Quais foram as irregularidades constadas pelos fiscais?

b) Com base no que você estudou nesta aula, comente a notícia sob o ponto de vista da agressão ao ambiente e das condições de trabalho dos carvoeiros.

Gabarito

1. a) CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), a primeira usina siderúrgica brasileira a usar coque como combustível, foi criada por decreto em 9 de abril de 1941 e privatizada em abril de 1993. O Alto-forno 1 da CSN funcionou de 1946 a 1992.

b) A CSN está utilizando um processo de desidratação para o reaproveitamento dos rejeitos de lama industrial que passou a ser utilizado no processo de sinterização.

c) O reaproveitamento dos rejeitos só trouxe benefícios econômicos além de proteger o ambiente, trazendo benefícios também para a comunidade.

2. a) Exploração de mão de obra infantil, falta de máscaras, luvas e outros equipamentos de proteção individual.

Todos os dias, fazemos uma porção de pequenas coisas, sem prestar a mínima atenção à quantidade de energia e trabalho que estão por trás de tudo o que fazemos. São gestos simples, como abrir a porta da geladeira, pegar uma latinha de cerveja bem gelada e sentar na frente da televisão para ver o nosso time favorito jogar.

Pare um pouco e pense em quantas pessoas estiveram envolvidas na fabricação de uma coisa tão simples e corriqueira como uma latinha de cerveja. É uma quantidade muito maior do que você imagina e envolve uma tecnologia desconhecida até pouco tempo atrás. Essa tecnologia é a da obtenção do alumínio, com o qual se fabricam as latinhas da nossa sagrada cervejinha de domingo.

Nesta aula, vamos começar a entrar no fascinante mundo dos metais não-ferrosos. E vamos começar pelo alumínio que, depois do aço, é o metal mais usado na indústria atualmente.

Um pouco sobre o alumínio

O alumínio é um metal com características excepcionais: é leve, resistente à corrosão, bom condutor de calor e eletricidade. Reflete a luz, possui coloração agradável e tem um baixo ponto de fusão: 658ºC. Por isso, a utilização mais comum que conhecemos do alumínio, além das panelas da cozinha, é como embalagem: desde o creme dental, passando pelos remédios, alimentos e bebidas, incluindo nossa sagrada cervejinha. Todos esses

produtos estão protegidos contra a umidade e a luz e podem, assim, ser conservados por muito mais tempo, graças ao alumínio.

Mas, não é só como embalagem que ele é utilizado. Sem o alumínio, não poderíamos ter satélites e antenas de televisão, por exemplo. Seria impossível, também, fazer os aviões decolarem se eles não fossem construídos com esse material, que tem apenas um terço do peso do ferro.

Nos veículos, como ônibus e caminhões, a utilização do alumínio permite a diminuição do peso e, conseqüentemente, uma enorme economia de combustível.

Por ser muito resistente à corrosão, ou seja, a ataques do meio ambiente, o alumínio também é empregado na fabricação de

esquadrias para prédios residenciais ou industriais, tanques para transporte e armazenamento de combustíveis e produtos químicos.

Aliada a essa resistência, está a alta condutividade elétrica, que permite o uso do alumínio na fabricação de cabos aéreos para a transmissão de energia elétrica.

Há, ainda, muitos outros tipos de produtos feitos com alumínio e que poderíamos citar aqui. Há, também, outras características. Mas, não vamos dizer quais são. Só para variar, vamos passar a bola para você.

Para parar e estudar

O alumínio é muito utilizado. Nesta primeira parte da aula, dissemos as razões porque isso acontece. Releia o trecho e faça o exercício a seguir.

Exercício

1. Responda as perguntas:

a) Observe o ambiente a sua volta. Você consegue reconhecer e citar mais uma ou duas coisas que são fabricadas com alumínio? Se você está em um teleposto, forme um grupo e faça uma lista de produtos de alumínio de que você e seus colegas podem se lembrar.

b) No texto Um pouco sobre o alumínio, citamos algumas características desse metal. Volte ao texto, faça uma nova leitura e tente encontrá-las.

c) Relacione essas características com os produtos de alumínio da lista que você fez para a primeira questão.

d) O alumínio tem, pelo menos, mais duas características que você pode facilmente perceber olhando e tocando. Discuta com seu grupo e tente descobrir quais são elas.

Um metal jovem

Quando comparamos a história do alumínio com a história do ferro ou do cobre, descobrimos que sua utilização é muito recente. Ela só se tornou realidade, com o desenvolvimento tecnológico proporcionado pela Revolução Industrial.

O engraçado de tudo isso é que o alumínio é um metal retirado de um minério chamado bauxita, que existe em grande quantidade na natureza. Na verdade, cerca de 8% da crosta terrestre são constituídos pelo alumínio. Isso o torna o metal mais abundante no nosso planeta. Mas, o problema é que ninguém sabia retirar o metal do minério.

Foi só em 1854 que se conseguiu obter, pela primeira vez, pequenas quantidades de alumínio. E sua utilização só se tornou economicamente viável, em 1892, quando se descobriu, finalmente, o processo para separar o alumínio da alumina, um composto de alumínio e oxigênio, que é um produto da bauxita.

Acredite se quiser

A alumínio foi mostrado, pela primeira vez, na Exposição Universal de Paris, em 1855. Era um metal tão raro que valia muito mais que o ouro e, praticamente, não tinha preço. Conta-se que, na corte de Napoleão III, havia uma baixela de alumínio que era reservada somente para o imperador, sua esposa e alguns convidados muito especiais. Os outros convidados tinham que se contentar com as baixelas de ouro...

E não é interessante descobrir como algo, que era tão valioso há pouco mais de um século, tornou-se um metal tão comum no século XX?

No período da história da humanidade que chamamos de Revolução Industrial e que vai mais ou menos de 1800 a 1900, havia muitos cientistas estudando os vários fenômenos da natureza, com o objetivo de descobrir o porquê das coisas.

Isso permitiu o aparecimento de ciências como a Biologia, a Física e a Química, da forma como as conhecemos hoje em dia. Toda essa curiosidade científica resultou na descoberta de uma grande quantidade de coisas novas. E a produção comercial do alumínio foi uma delas.

Muitos cientistas participaram dessa descoberta. O primeiro foi um inglês chamado Sir Humphrey Davy que, entre 1808 e 1812, tentou isolar o metal. Tudo o que ele conseguiu, inicialmente, foi uma liga de ferro e alumínio. Depois de muitas tentativas sem sucesso e sem saber direito o que tinha descoberto, sugeriu que poderia ser um óxido de um metal. A esse material ele deu o nome de aluminium.

O próximo grande passo foi dado por um físico e químico dinamarquês chamado Hans Christian Oersted. Em 1825, ele conseguiu separar o alumínio de seu óxido. A massa metálica obtida, por esse processo, foi um composto de alumínio impuro.

Em 1854, o cientista francês Henri Saint Claire Deville substituiu o potássio pelo sódio. Com isso, ele conseguiu reduzir o óxido existente na alumina e obteve um alumínio com um nível de pureza de cerca de 97%.

Mas, foi somente em 1886 que dois cientistas, um francês chamado Paul Heroult e o americano Charles Martin Hall, trabalhando cada um em seu país, descobriram o processo de decomposição eletrolítica do óxido de alumínio, dissolvido em criolita derretida. Esse processo, baseado no princípio da eletrólise, só se tornou possível por causa da invenção do dínamo elétrico. Ele é, basicamente, o processo usado até hoje.

Eletrólise é a decomposição de um composto químico por meio de passagem de uma corrente elétrica por uma solução.

Para parar e estudar

Para fazer um pouco de suspense, vamos deixar para descrever o processo de obtenção e fabricação do alumínio para a próxima aula. Enquanto isso, leia novamente a lição e faça os exercícios a seguir.

Exercício

2. Responda às seguintes perguntas.

a) Qual é o nome do minério de onde é retirado o alumínio?

b) Em que ano o processo de produção do alumínio tornou esse metal economicamente viável?

c) Em que princípio se baseou o processo de produção do alumínio e que se mantém até hoje?

d) Diga as características que levaram à utilização do alumínio como material preferido na fabricação dos seguintes produtos:

1. Esquadrias para prédios industriais e residenciais: ....
....

2. Ônibus, caminhões e aviões: ....
....

3. Tanques para armazenamento de produtos químicos ..
....

4. Cabos para transmissão de energia elétrica ....
....

Gabarito

1. a) Antena externa de TV, esquadrias de portas, vitrôs, janelas, carrocerias tipo baú, condutores elétricos etc.

b) Leve, resistente a corrosão, flexível, bom condutor térmico e elétrico etc.

c) Portas e janelas: resistência à corrosão; fiação elétrica: condutividade elétrica; vasilhames de cozinha: condutividade térmica; caminhão tipo baú: leveza etc.

d) Reflexão de luz e maleabilidade.

2. a) Bauxita

b) 1892

c) Eletrólise

d) **1.** - Resistência à corrosão e aos ataques do meio ambiente; diminuição do peso da estrutura.

2. - Resistência à corrosão, diminuição do peso da estrutura.

3. - Resistente à corrosão pelo ataque de produtos químicos.

4. - Alta resistência e condutividade elétrica.

Na aula anterior, você aprendeu que o alumínio é um metal leve, resistente, durável, versátil. Viu também que, durante algum tempo, por causa das dificuldades de processamento, ele chegou a ser mais precioso que o ouro.

Mesmo sendo abundante na crosta terrestre, já que 8% dela é constituída de bauxita o minério a partir do qual se produz o alumínio, esse metal precisa de um processo sofisticado de transformação para poder ser usado. E essa era a barreira que, durante certo tempo, fez com que esse metal fosse absurdamente caro.

Hoje, ele ainda não é barato. Mas, os processos de fabricação, que eram tão misteriosos, já não se constituem em nenhum segredo. E, se o país possuir reservas minerais, energia elétrica, mão-de-obra qualificada e indústria que domine a tecnologia, como é o caso do Brasil, fica fácil.

Então, nesta aula, vamos estudar um pouco sobre os processos de obtenção do alumínio. Para você que já estudou os metais ferrosos, vai ser tranqüilo.

Processo de obtenção do alumínio

Depois de resolver os problemas tecnológicos relacionados à produção do alumínio, ele se tornou o metal mais usado depois do aço. Atualmente, seu volume de produção é maior do que o de todos os outros metais não-ferrosos juntos. Mas, como será que

ele é obtido? Na aula anterior, dissemos algumas palavras-chaves: bauxita, alumina, óxido de alumínio, eletrólise. Vamos ver, então, como e onde elas se encaixam.

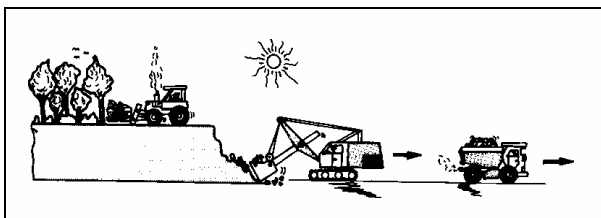
Alumina (Al_2O_3) é um composto químico formado por dois átomos de alumínio e três átomos de oxigênio.

O processo de obtenção dos alumínio tem três etapas:

- obtenção do minério (bauxita);
- obtenção da alumina;
- obtenção do alumínio.

Obtenção do minério

Como já dissemos aqui, o minério do qual se obtém o alumínio se chama **bauxita**. E esse minério foi formado pela decomposição, isto é, a separação em pequenas partículas, de rochas alcalinas. Essa decomposição foi causada pela chuva que se infiltrou na rocha durante milhões de anos. Como resultado disso, as rochas se transformaram em uma argila, ou seja, um tipo de terra, composta principalmente de óxido de alumínio hidratado (alumina) misturado com óxido de ferro, sílica, titânio e outras impurezas. A proporção de alumina, nessa argila, fica entre 40 e 60%.

Antes do início da mineração, a terra e a vegetação acumuladas sobre o depósito de bauxita são retiradas com o auxílio de motoniveladoras. Em seguida, o minério é retirado com o auxílio de retroescavadeiras e transportado por caminhões até à área de armazenamento.

São necessárias quatro toneladas de bauxita para produzir uma tonelada de alumínio.

Fique por dentro
O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo.

Obtenção da alumína

Na segunda etapa do processo, retiram-se as impurezas da bauxita para que sobre somente a alumina.

Para isso, a bauxita é triturada e misturada com uma solução de soda cáustica. A lama formada por essa mistura, é aquecida sob alta pressão e recebe uma nova adição de soda cáustica.

Dessa forma, a alumina é dissolvida, a sílica contida na pasta é eliminada, mas as outras impurezas não. Então, elas são separadas por processos de **sedimentação** e filtragem.

Sedimentação é um processo no qual as partículas sólidas que estão em suspensão dentro de uma mistura líquida, vão se depositando no fundo do recipiente onde a mistura está guardada.

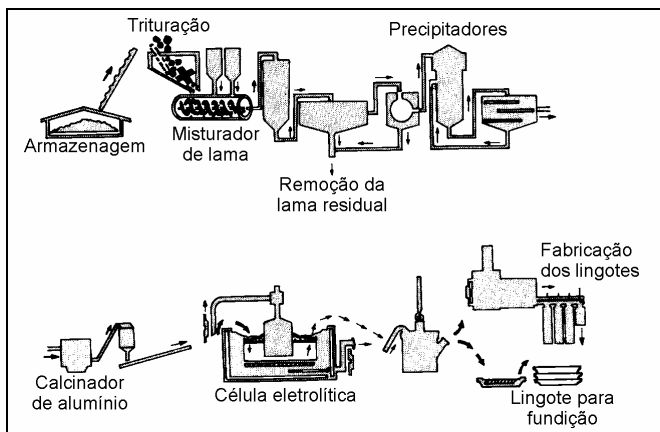
A solução resultante, chamada de aluminato de sódio, é colocada em um precipitador e, nesse processo, obtém-se a alumina hidratada. Nesse ponto, a alumina hidratada pode seguir um entre dois caminhos: ela pode ser usada como está ou ser levada para os calcinadores.

Se ela for usada como está, será matéria-prima para produtos químicos, como o sulfato de alumínio, usado no tratamento da água e na indústria de papel. Poderá ser empregada, também, na produção de vidros, corantes e cremes dentais.

Para ser matéria-prima para a produção não só de alumínio, mas também de abrasivos, refratários, isoladores térmicos, tintas, velas de ignição e cerâmicas de alta tecnologia, a alumina hidratada precisa perder a água que está quimicamente combinada dentro dela. Isso acontece nos calcinadores nos quais ela é aquecida a temperaturas entre 1.000ºC e 1.300ºC.

Obtenção do alumínio

Nós já vimos nesta lição que a alumina é um composto químico que contém dois átomos de alumínio e três átomos de oxigênio. Para obter o alumínio, é preciso retirar esse oxigênio que está dentro da alumina.

Como essa ligação do oxigênio com o alumínio é muito forte, é impossível separá-lo utilizando os redutores conhecidos, como o carbono, por exemplo, que é usado na redução do ferro. Esse foi o problema que impediu o uso desse metal até pouco mais de cem anos atrás. E isso foi resolvido com a utilização de fornos eletrolíticos. A ilustração a seguir mostra o fluxograma desse processo.

O processo funciona assim: a alumina é dissolvida dentro dos fornos eletrolíticos em um banho químico à base de **fluoretos**. Os fornos são ligados a um circuito elétrico, em série, que fornece corrente contínua. No momento em que a corrente elétrica passa através do banho químico, ocorre uma reação e o alumínio se separa da solução e libera o oxigênio. O alumínio líquido se deposita no fundo do forno e é aspirado a intervalos regulares por meio de sifões.

Fluoreto é um composto químico à base de flúor. Ele é colocado no creme dental para proteger os dentes contra as cáries.

O calor gerado pela corrente elétrica mantém a solução em estado líquido. Isso permite a adição de mais alumina a qualquer momento, o que torna o processo contínuo. Então, o alumínio líquido é levado para fornalhas onde será purificado ou receberá adições de outros metais que formarão as ligas e lhe darão características especiais.

Depois disso, ele será resfriado sob a forma de lingotes, barras ou tarugos para ser utilizado na indústria de transformação.

Dica tecnológica
O alumínio puro, ou seja, aquele que tem 99% ou mais de teor de alumínio, apresenta propriedades mecânicas pobres: baixa dureza, baixos limites de escoamento e baixa resistência à tração.

Sua maior utilização industrial, portanto, é na forma de ligas. No estado puro, ele é usado apenas em aplicações especiais tais como: partes de motores elétricos, embalagens e condutores elétricos.

Para parar e estudar

É hora da pausa para começar o "segundo tempo". Releia esta parte da lição, concentrando-se no processo de obtenção do alumínio e, em seguida, faça o exercício a seguir:

Exercício

1. Responda às seguintes perguntas:
  - **a)** A etapa de mineração da bauxita é agressora ao ambiente. Qual é essa agressão? O que você acha que se pode fazer para diminuí-la?
  - **b)** Para que serve a alumina hidratada?
  - **c)** Por que a alumina hidratada precisa ser calcinada?
  - **d)** O que acontece com a alumina na terceira etapa do processo?

e) Leia novamente todas as informações sobre o processo de produção do alumínio. Você acha que ele é poluidor? Por quê?

Vantagens da utilização do alumínio

Além das características já citadas, como a leveza e a resistência às condições do ambiente, o alumínio apresenta outras características extremamente vantajosas de utilização.

Ele é facilmente moldável e permite todo o tipo de processo de fabricação: pode ser laminado, forjado, prensado, repuxado, dobrado, serrado, furado, torneado, lixado e polido.

As peças de alumínio podem também ser produzidas por processos de fundição em areia, fundição em coquilhas ou fundição sob pressão.

Além disso, o alumínio é um material que pode ser unido por todos os processos usuais: soldagem, rebitagem, colagem e brasagem. Excelente condutor de calor, sua condutividade térmica é quatro vezes maior que a do aço. Sua superfície aceita os mais variado tipos de tratamento. Ele pode ser anodizado, envernizado e esmaltado.

Analisando essas características que o tornam um material extremamente versátil e aliando isso à facilidade de obtenção, é fácil perceber porque ele é tão usado na indústria do século XX.
Anodização é um processo eletrolítico de tratamento da superfície do alumínio. Ela dá a esse metal uma camada protetora contra a corrosão, dura e integrada ao material e que permite colori-lo permanentemente.

Para parar e estudar

É bom agora dar mais uma paradinha para estudar. Releia essa parte da aula e faça o exercício a seguir.

Exercício

2. Complete:

a) O alumínio pode ser laminado, forjado, ..., repuxado, dobrado, serrado, furado, ..., lixado e ....

b) O alumínio pode ser unido por: ...., ...e ....

c) A superfície do alumínio pode ser tratada contra a corrosão por meio de: ...., ... e ....

O alumínio e o ambiente

A exploração da bauxita e a produção do alumínio são atividades extremamente agressoras ao meio ambiente. Senão, vejamos: para extrair o minério da jazida, é necessário remover toda a vegetação e a camada de terra fértil que esconde a bauxita.

Para diminuir o problema, o solo fértil e a vegetação devem ser reservados para serem repostos, após a extração do minério.

Para evitar a erosão, devem ser construídos terraços recobertos com o solo fértil, anteriormente retirado, e as áreas, reflorestadas com espécies nativas.

Outro problema são as etapas de produção que geram efluentes extremamente poluidores. Por exemplo: a moagem da bauxita, se não for feita por via úmida, gerará a emissão de poeira.

No processo de obtenção da alumina, o maior problema ambiental está relacionado ao resíduo sólido - a chamada "lama vermelha" - que resulta desse processo. Para diminuir seus efeitos poluentes, o procedimento adotado é tratar os resíduos, recuperando parte da soda cáustica presente neles. Constroem-se, então, lagos artificiais selados com mantas de pvc e argila. Os resíduos se sedimentam no fundo desses reservatórios e a água pode ser reutilizada. Os gases expelidos pelas reduções,

pode ser reutilizada. Os gases expelidos pelas reduções, ricos em fluoretos, devem ser coletados, separados por meio de precipitadores eletrostáticos e tratados.

Mas, o alumínio não é tão “vilão” assim. O aperfeiçoamento dos processos de fabricação permite que, atualmente, se gaste apenas 16 quilos de material, para fabricar 1.000 latinhas de refrigerante, contra os 74 quilos necessários para fabricar a mesma quantidade de latinhas no início dos anos 70.

Além dessa vantagem, o alumínio apresenta outra relacionada à conservação de energia e, conseqüentemente, à proteção do meio ambiente: o alumínio é um material totalmente reciclável. A refundição de sua sucata consome somente 5% da energia necessária para a obtenção do metal original. Isso traz uma enorme economia para os países que aproveitam essa sucata.

Por isso, pense duas vezes antes de jogar a latinha de cerveja no lixo. Se você juntá-las e vendê-las, estará ajudando na reciclagem do lixo, ganhando dinheiro e ajudando o país a economizar energia e proteger o ambiente.

Esta aula termina por aqui. Deixamos o assunto sobre preservação do meio ambiente para o fim, para que você possa refletir bastante e falar com seus amigos sobre ele. Procure ler mais sobre o assunto porque ele é muito importante.

Avalie o que você aprendeu

Nesta parte da aula, vamos desafiar você a mostrar o que aprendeu sobre o que acabamos de ensinar. Releia toda a aula e faça o teste a seguir.

Exercícios

3. Complete:

a) O alumínio puro é bom condutor de .... e de .... e tem grande resistência à ....

b) A leveza do alumínio indica sua utilização na fabricação de .... e ....

c) O que tornou possível a obtenção do alumínio foi um processo de decomposição chamado ....

d) O minério do qual se extrai o alumínio se chama ....

e) A proporção de alumina, ou hidróxido de alumínio hidratado, na bauxita, fica entre .... e ....

f) Para dissolver e retirar as impurezas da bauxita, mistura-se a bauxita moída com uma solução de ....

g) A alumina hidratada é obtida colocando-se o .... em um ....

h) Para retirar a água quimicamente combinada de dentro da alumina, ela é colocada em .... e aquecida a ....

i) A retirada do oxigênio da alumina desidratada é feita em ....

4. Responda estas questões:

a) Por que o alumínio é mais usado na forma de liga?

b) O que impediu a utilização econômica do alumínio até pouco mais de cem anos atrás?

c) Qual invenção permitiu essa utilização?

d) Cite três usos para a alumina hidratada.

e) Cite três vantagens na utilização do alumínio.

Gabarito

1. **a)** Agressão à crosta terrestre. Sugestão: reposição da vegetação (replantio, reflorestamento) após a extração do minério.

b) Para a produção de sulfato de alumínio, vidros, cremes dentais e corantes.

c) Para perder a água contida quimicamente dentro dela.

d) Pode ser usada como está ou ser levada para os calcinadores e dissolvida em um banho químico à base de fluoretos.

e) Durante a produção do alumínio, muitas impurezas são liberadas e a vegetação é atacada pelos produtos utilizados para obtenção da alumina como, por exemplo, a soda cáustica. Isso provoca também a poluição da atmosfera, com a liberação de gases.

2. **a)** prensado - torneado - polido

b) soldagem - rebitagem - colagem - brasagem.

c) anodização - envernizamento - esmaltagem.

3. **a)** calor - eletricidade - corrosão.

b) ônibus, aviões e caminhões

c) eletrólise.

d) bauxita.

e) 40 e 60%.

f) soda cáustica.

g) aluminato de sódio - precipitador.

h) calcinadores - 1.000 a 1.300ºC.

i) fornos eletrolíticos.

4. **a)** Por apresentar propriedades mecânicas muito pobres no estado puro, como baixa dureza, baixa resistência à tração, baixos limites de escoamento etc.

b) A impossibilidade de separá-lo utilizando os redutores conhecidos, como o carbono, por exemplo, usado na redução do ferro.

c) O dínamo elétrico

d) Matéria-prima para produtos químicos, na produção de vidros, corantes e cremes dentais.

e) É facilmente moldável, pode ser laminado, forjado, prensado, repuxado, polido etc., é um excelente condutor de calor, pode ser anodizado, envernizado e esmaltado.

Leveza, ductilidade, resistência a esforços mecânicos e a ataques do meio ambiente, alto valor econômico da sucata, enormes jazidas: essas e outras qualidades tornaram o alumínio o material mais utilizado no mundo depois do aço.

Embora a tradição diga que "em time que está ganhando não se mexe", a imensa curiosidade do homem aliada às exigências de consumo do mercado continuam levando a um aperfeiçoamento tecnológico sempre crescente na produção dos materiais para a indústria. E o alumínio não poderia ficar fora disso.

Assim, para melhorar ainda mais as características desse material já tão versátil, desenvolveram-se novas ligas e empregaram-se processos de beneficiamento. Eles são usados com a finalidade de dar ao metal características especiais para usos especiais. Esse é o assunto desta aula. Estude com atenção e veja como ele é interessante.

Como melhorar as propriedades do alumínio

O alumínio puro é bastante dúctil, apresenta boa resistência à corrosão, boa condutividade térmica e elétrica. Todas essas características o tornam indicado para a fabricação de laminados muito finos, embalagens, latinhas de bebidas, recipientes para a indústria química, cabos e condutores elétricos.

Porém, o alumínio puro apresenta baixa resistência a esforços mecânicos e baixos níveis de dureza. Por isso, para peças que

estão sujeitas a esforços elevados, a resistência do alumínio puro não é suficiente.

Existem várias maneiras para melhorar as propriedades de um metal. Pode-se acrescentar elementos químicos e obter uma liga. Por meio de processos mecânicos, como laminação ou prensagem, pode-se torná-lo, por exemplo, mais resistente. Também é possível obter esse tipo de resultado com um processo de tratamento térmico. Isso é perfeitamente aplicável ao alumínio.

As ligas de alumínio

Para melhorar ou modificar as propriedades do alumínio, adicionam-se a ele um ou mais de um elemento químico. Esse processo tem como resultado a formação de uma liga. Isso acontece depois que o alumínio puro e liqüefeito sai do forno eletrolítico e vai para o forno de espera onde o elemento é adicionado.

As ligas são formadas principalmente com a adição de cobre (Cu), magnésio (Mg), manganês (Mn), silício (Si) ou zinco (Zn) ao alumínio (Al). A escolha dos elementos e sua proporção nessa adição dependem das propriedades finais que se quer obter. Assim, por exemplo, se fabricarmos uma liga de alumínio (Al) com cobre (Cu) e submetermos essa liga a processos especiais de tratamento térmico, esse material terá uma resistência à tração equivalente e até maior que a de alguns aços de baixo teor de carbono. Além disso, ela apresenta uma ótima usinabilidade. Devido à alta relação entre resistência (maior) e peso (menor), essa liga é indicada para a indústria aeronáutica e automobilística, na fabricação de rodas de caminhões, na estrutura e revestimento de asas e rodas de aviões. É indicada também para peças que devem suportar temperaturas ao redor de 150ºC.

Quando se adiciona manganês (Mn) ao alumínio, a resistência mecânica dessa liga aumenta em até 20% quando comparada ao alumínio puro. Mesmo assim, ela não perde a capacidade que o alumínio tem de ser trabalhado por todos os processos de conformação e fabricação mecânicas, como por exemplo, a prensa-

gem, a soldagem e a rebitagem. Essa liga aceita acabamentos de superfície; é resistente à corrosão; possui elevada conduti-vidade elétrica, embora sua resistência mecânica seja limitada. Com essas características, essa liga é usada nas mesmas aplicações que o alumínio puro, ou seja, na fabricação de latas de bebidas, placas de carro, telhas, equipamentos químicos, refletores, trocadores de calor e como elemento decorativo na construção civil.

A liga de alumínio/silício (Si) apresenta baixo ponto de fusão e boa resistência à corrosão. Quando o teor de silício é elevado (em torno de 12%), a liga se torna adequada para produzir peças fundidas. Ela também é indicada como material de enchimento em processos de soldagem e **brasagem**.

Brasagem, ou solda forte, é o processo de união de metais no qual o material de adição sempre se funde a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão das peças a serem unidas.

As ligas de alumínio/magnésio (Mg) são excelentes para a soldagem, além de serem também resistentes à corrosão, principalmente em atmosferas marinhas. Por isso, são muito empregadas na fabricação de barcos, carrocerias para ônibus e furgões e no revestimento de **tanques criogênicos**.

Tanque criogênico é um recipiente usado para armazenar gases ou líquidos a temperaturas extremamente baixas.

É possível também combinar elementos de liga. É o caso das ligas de alumínio que contêm magnésio e silício em sua composição. Essas ligas apresentam uma resistência mecânica um pouco menor que as ligas de alumínio e cobre. Porém, têm elevada resistência à corrosão, são facilmente moldadas, usinadas e soldadas e aceitam diversos tipos de processos de acabamento, tais como o polimento, o envernizamento e a esmaltação. São usadas na construção civil, na fabricação de veículos e máquinas e fios para cabos de alta tensão.

Existem também ligas de alumínio fabricadas com a adição de zinco (Zn) e uma pequena porcentagem de magnésio (Mg), cobre (Cu) ou cromo (Cr). Depois de passar por tratamento térmico, essas ligas são usadas em aplicações que exijam uma alta relação resistência/peso, principalmente na construção de aviões. Outros elementos de liga que podem ser adicionados ao alumínio são: bismuto (Bi), chumbo (Pb), titânio (Ti), estanho (Sn), níquel (Ni) etc. São as variações nas quantidades e combinações dos elementos que originam uma infinidade de ligas com propriedades adequadas a cada uma das aplicações.

Se você está achando difícil guardar de cabeça todas essas informações, preparamos um quadro que resume tudo o que dissemos até aqui sobre as ligas de alumínio. Veja como fica mais fácil:

Elemento adicionado	Características	Aplicações
Alumínio puro	Ductilidade, condutividade elétrica e térmica, resistência à corrosão.	Embalagens, folhas muito finas, recipientes p/ a indústria química, condutores elétricos.
Cobre	Resistência mecânica, resistência a altas temperaturas e ao desgaste, usinabilidade.	Rodas de caminhões, rodas, estrutura e asas de aviões, cabeçotes de cilindros de motores de aviões e caminhões, pistões e blocos de cilindros de motores.
Manganês	Ductilidade, melhor resistência mecânica à corrosão.	Esquadrias para construção civil, recipientes para a indústria química.
Silício	Baixo ponto de fusão, melhor resistência à corrosão, fundibilidade.	Soldagem forte, peças fundidas.
Silício com cobre ou magnésio	Resistência mecânica ao desgaste e à corrosão, ductilidade; soldabilidade, usinabilidade, baixa expansão térmica.	Chassis de bicicletas, peças de automóveis, estruturas soldas, blocos e pistões de motores, construção civil.
Magnésio	Resistência à corrosão em atmosferas marinhas, soldabilidade, usinabilidade.	Barcos, carrocerias de ônibus, tanques criogênicos.
Zinco	Alta resistência mecânica e baixo peso.	Partes de aviões.
Zinco e magnésio	Resistência à tração e à corrosão, soldabilidade, usinabilidade.	Brasagem.
Estanho	Resistência à fadiga e à corrosão por óleo lubrificante.	Capa de mancal, mancais fundidos, bielas.

Para parar e estudar

Nesta primeira parte da aula, você recebeu uma série de informações sobre as ligas de alumínio. Vamos dar um tempinho para que você pare um pouco e estude essa parte com calma e

bastante cuidado. Os exercícios que vêm a seguir, vão ajudá-lo nessa tarefa.

Exercícios

1. Complete:

a) Os metais puros apresentam .... resistência a esforços mecânicos.

b) A conformação mecânica, o tratamento térmico e a adição de elementos químicos para a formação de ligas ajudam a melhorar ....

2. Responda:

a) Por que o alumínio puro não é indicado para peças sujeitas a esforços elevados?

b) Qual é a liga que tem resistência à tração igual ou maior que a do aço de baixo teor de carbono?

c) Que propriedades o alumínio adquire ao receber manganês como elemento de adição?

d) Quais são as características da liga alumínio + silício?

e) Por que as ligas de alumínio, magnésio e silício são as preferidas na construção civil?

3. A seguir são apresentadas duas listas: uma contém produtos fabricados com ligas de alumínio; outra contém os elementos de adição da liga. Escreva nos parênteses o número correspondente a cada um

a) ( ) Pistões de motores	**1.**	Silício com cobre ou magnésio
b) ( ) Rodas de aviões	**2.**	Magnésio
c) ( ) Barcos	**3.**	Cobre
d) ( ) Mancais fundidos	**4.**	Zinco
e) ( ) Peças fundidas	**5.**	Silício
f) ( ) Partes de aviões	**6.**	Estanho

Normalização das ligas de alumínio

Para organizar e facilitar a seleção das ligas de alumínio, a ABNT e outras associações de normas técnicas classificaram essas ligas de acordo com o processo de fabricação e a composição química.

Elas foram divididas em **ligas para conformação** (ou dúcteis) e **ligas para fundição**. Essa divisão foi criada porque as diferentes ligas têm que ter características diferentes para os diferentes processos de fabricação.

Assim, as ligas para conformação devem ser obrigatoriamente bastante dúcteis para serem trabalhadas a frio ou a quente pelos processos de conformação mecânica, que são a laminação, a trefilação, o forjamento e a extrusão. Após passarem por esses processos, as ligas são comercializadas sob a forma de laminados planos (chapas e folhas), barras, arames, perfis e tubos extrudados e peças forjadas.

Por outro lado, as ligas para fundição devem ter resistência mecânica, fluidez e estabilidade dimensional e térmica para suportar os diferentes processos de fundição em areia, em molde permanente por gravidade ou sob pressão.

Tanto as ligas para conformação quanto as ligas para fundição seguem um sistema de designação de acordo com a norma da ABNT NBR 6834, conforme o principal elemento de liga presente em sua composição. Observe a tabela a seguir.

Alumínio e suas ligas para conformação	
Designação da série	**Indicação da composição**
1XXX	99,0% mínimo de alumínio
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e silício
7XXX	Zinco
8XXX	Outros elementos
9XXX	Série não utilizada

Vamos ver se você está bem ligado no que está estudando. Na tabela que você acabou de ler, existe um dado novo, certo? Você deve ter percebido que na coluna **Designação da série**, escrevemos 1XXX, 2XXX, 3XXX etc. Isso tem um significado. Vamos ver qual é.

Pela norma já citada (NBR 6834), os materiais para conformação mecânica são indicados por um número de quatro dígitos:

- o primeiro classifica a liga pela série de acordo com o principal elemento adicionado;
- o segundo dígito, para o alumínio puro, indica modificações nos limites de impureza: 0 (nenhum controle) ou 1 a 9 (para controle especial de uma ou mais impurezas). Para as ligas, se for diferente de zero indica qualquer modificação na liga original;
- o terceiro e o quarto dígitos, para o alumínio puro, indicam o teor de alumínio acima de 99%. Quando se referem às ligas, identificam as diferentes ligas do grupo (é um número arbitrário).

Parece complicado? Vamos ver dois exemplos, então. Digamos que você tenha à mão um catálogo de fabricante de alumínio e escolha o alumínio número 1035. O primeiro dígito (1) significa que se trata de uma liga da série 1XXX, que se refere ao alumínio comercialmente puro. O segundo dígito (0) indica que é um alumínio sem controle especial de impurezas. E, finalmente, os dois últimos dígitos (35) significam que é um material com 99,35% de alumínio.

E se for um alumínio 6463A? A tabela indica que o primeiro dígito (6) se refere à série 6XXX, correspondente à liga de alumínio com magnésio e silício. O segundo dígito (4) indica que se trata de uma modificação da liga original (6063). Os dois últimos dígitos (63) indicam que essa liga é a número 63 dessa série. Mas, e a letra A? Bem, essa letra, que também é normalizada, indica que essa liga é uma pequena alteração da liga 6463 existente em outro país.

Agora, falta a gente estudar a série das ligas para fundição. Vamos dar uma olhadinha na tabela da próxima página.

Alumínio e suas ligas para conformação	
Designação da série	**Indicação da composição**
1XXX	99,0% mínimo de alumínio
2XXX	Cobre
3XXX	Silício e cobre e/ou magnésio
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Série não utilizada
7XXX	Zinco
8XXX	Estanho
9XXX	Outros elementos

Como você pode observar na coluna **Designação de série**, as ligas de alumínio para fundição são indicadas por três dígitos, um ponto e um dígito. Da mesma forma como nas ligas para conformação, cada dígito tem um significado:

- o primeiro dígito classifica a liga segundo o elemento principal da liga;
- o segundo e o terceiro dígitos indicam centésimos da porcentagem mínima de alumínio (para o alumínio puro) ou diferentes ligas do grupo;
- o dígito após o ponto indica a forma do produto: **0** para peças fundidas e **1** para lingotes.

Vamos a um exemplo? A liga escolhida é a 319.0: o dígito **3** indica que esta é uma liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio; o número **19** indica que ela é a 19ª liga da série; o dígito **0** após o ponto indica tratar-se de peça fundida.

Dica tecnológica

O último dígito indicativo da série para ligas de fundição pode ser **2**. Neste caso, trata-se de um lingote feito de material reciclado fora da especificação em relação aos níveis de impureza.

Para parar e estudar

Bem, você já tem um bocado de informação para estudar. Vamos, então, dar uma paradinha para que você possa ter tempo de ler novamente esta parte da aula.

Exercício

4. Identifique a série e as ligas correspondentes aos seguintes algarismos:

a) 1050 ....
b) 2024 ....
c) 4047 ....
d) 6060 ....
e) 365.1 ....
f) 380.0 ....

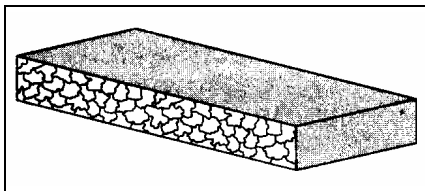
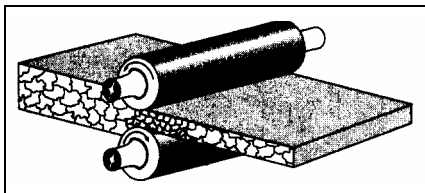
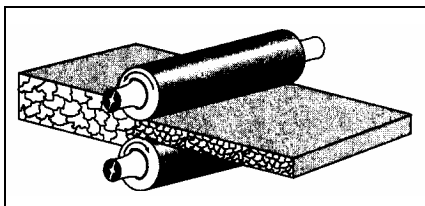
Outras maneiras de melhorar as propriedades do alumínio

No início da aula, dissemos que existem várias maneiras para melhorar ou modificar as propriedades de um metal. Uma delas é a adição dos elementos de liga. Até aqui, estudamos as ligas do alumínio e vimos como cada elemento de adição influencia nas propriedades, aumentando ou diminuindo a resistência mecânica, melhorando a resistência à corrosão ou aumentando a ductilidade.

Vamos aprender agora que é possível obter alguns desses resultados por dois outros métodos: o tratamento térmico (por aquecimento e resfriamento) e tratamento mecânico (por conformação a quente e a frio). Neles, acontecem modificações nas estruturas internas das ligas e se obtém, como resultado, uma ampla faixa de propriedades mecânicas.

A conformação mecânica produz mudanças na estrutura interna do alumínio e suas ligas. Um dos processos onde isso fica bem visível é na laminação, usada para transformar o lingote em

chapas para uso posterior. Esse processo pode ser executado a frio. Se a laminação é feita a quente, o alumínio mantém sua maleabilidade. Quando realizado a frio, esse processo produz um efeito no alumínio chamado encruamento o que o torna mais duro e menos maleável. Sua pergunta, com certeza, agora é: "Mas, como isso se dá?!"

Esses efeitos acontecem dentro da estrutura interna do metal que é organizada sob a forma de grãos bem pequenos. Se a gente pudesse ver o que ocorre no interior do metal, seria uma imagem mais ou menos assim:

Quando o lingote de alumínio pré-aquecido passa no meio de dois ou mais rolos da laminadora, como em uma máquina de abrir massa de pastel, esses grãozinhos deslizam um sobre os outros, deformam-se e recompõem-se logo em seguida, por causa da temperatura. Isso mantém a maleabilidade do metal.

Na laminação a frio, quando os grãozinhos são comprimidos pelos rolos da laminadora, eles se quebram e diminuem de tamanho, aumentando a dureza e a resistência do material e diminuindo sua maleabilidade. O efeito da laminação a frio é chamado, como já dissemos, de encruamento.

O que acabamos de descrever é o que acontece com o alumínio depois que é transformado em lingotes: ele pode ser laminado a quente ou a frio. Com isso, as chapas e perfis produzidos ganham o grau de dureza necessário para que, posteriormente, sejam transformados nos mais variados produtos. O tratamento térmico é outra maneira de melhorar as propriedades de um metal. Nesse processo, o metal é aquecido e, em seguida, resfriado. Isso traz ao metal ou a sua liga certos efeitos como alívio de tensões, eliminação do encruamento, estabilidade dimensional, endurecimento etc.

Para parar e estudar

Agora vamos dar mais uma paradinha para que você possa estudar as informações deste trecho da aula. Leia-o novamente e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

5. Escreva F se a afirmação for falsa e **V** se ela for verdadeira:

a) ( ) Na laminação a frio, o metal fica mais maleável.

b) ( ) A laminação modifica a estrutura interna do alumínio e suas ligas.

c) ( ) O alumínio laminado a quente não perde a maleabilidade.

d) ( ) O alumínio laminado a frio perde a maleabilidade porque os grãos na estrutura interna do material ficam maiores.

e) ( ) O efeito da laminação a frio chama-se encruamento.

f) ( ) No tratamento térmico, o aquecimento e o resfriamento são os fatores que produzem a modificação na estrutura interna da liga.

g) ( ) Alívio de tensão é um dos resultados que se pode obter com tratamento térmico.

Avalie o que você aprendeu

Depois de estudar bem toda a aula, fazer e corrigir os exercícios, faça o teste a seguir e avalie o quanto você aprendeu até aqui.

6 Faça os exercícios a seguir:

a) Cite quatro qualidades que tornaram o alumínio o metal mais utilizado no mundo depois do aço.

b) É possível melhorar as propriedades do alumínio puro? Como? Dê um exemplo.

c) Assinale com um **X** a alternativa que melhor completa a seguinte frase: "A liga de alumínio para conformação 1035 é usada para fabricar..."

1. ( ) folhas muito finas;
2. ( ) esquadrias para a construção civil;
3. ( ) chassi de bicicleta;
4. ( ) rodas de caminhão.

d) Preencha as lacunas:

1. A liga de alumínio para conformação 6463 é usada para fabricar ....
2. Para a fabricação de algumas partes de aviões a liga de alumínio recomendada é a da série ....
3. A principal aplicação da liga de alumínio 4043 é ....
....

e) Escreva **F** se a afirmação for falsa e **V** se ela for verdadeira.

1. ( ) A ligas de alumínio para conformação devem ser bastante maleáveis;

2. ( ) Os processos de conformação mecânica aplicados ao alumínio são: laminação, fundição, trefilação, forjamento e extrusão;

3. ( ) As ligas de alumínio que contêm magnésio e silício em sua composição, apresentam uma resistência mecânica um pouco maior que as ligas de alumínio e cobre;

4. ( ) As ligas de alumínio para fundição devem ter resistência mecânica, fluidez, estabilidade dimensional e térmica.

f) A seguir, apresentamos a você um problema:

"Maurício é um pequeno empresário que produz canecas de alumínio por estampagem. Para reduzir custos, ultimamente ele anda comprando sua matéria-prima de sucateiros. Acontece que seus produtos passaram a apresentar trincas após a estampagem."

Tente descobrir por que esse problema está acontecendo.

Gabarito

1. **a)** baixa
   b) as propriedades de um metal.

2. **a)** Porque apresenta baixa resistência a esforços mecânicos e baixos níveis de dureza.
   b) Alumínio com cobre
   c) Melhor resistência mecânica, mantendo a resistência à corrosão e a condutividade elétrica.
   d) Baixo ponto de fusão e boa resistência à corrosão.
   e) Porque tem elevada resistência à corrosão, são facilmente moldadas e aceitam diversos tipos de acabamento.

3. **a)** 1 **c)** 2 **e)** 5
   b) 3 **d)** 6 **f)** 4

4. **a)** 1050: série 1.XXX, sem controle especial de impurezas com 99,50% de alumínio.
   b) 2024: série 2.XXX, liga de alumínio com cobre sem controle especial de impurezas.
   c) 4047: série 4.XXX, liga de alumínio com silício sem controle especial de impurezas
   d) 6060: série 6.XXX, liga de alumínio com magnésio e silício sem controle especial de impurezas.
   e) 365.1: liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio, 65ª liga da série, lingotes.
   f) 380.0: liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio, 80ª liga da série, peças fundidas.

5. **a)** F
   b) V
   c) V
   d) F
   e) V
   f) V
   g) V

6. a) Leveza, ductibilidade, resistência a esforços mecânicos, enormes jazidas etc.

b) Sim, pela adição de elementos de liga como, por exemplo, cobre, silício com cobre ou magnésio, ou zinco e magnésio etc.

c) (1) folhas muito finas.

d) **1** - chassi de bicicletas, peças de automóveis etc.
2 - 7XXX
3 - peças fundidas, varetas para solda forte.

e) **1**. V 3. F
2. V 4. V

f) A sucata não foi adequada para atender ao tipo de conformação mecânica proposta. Isso porque os elementos que compõem o material não correspondem à liga ideal que tenha as características para que resistam ao trabalho, pelo processo de conformação.

O cobre foi o primeiro metal usado pelo homem. Os livros de História nos ensinam que 4.000 anos antes de Cristo, o homem já fazia suas primeiras experiências com esse metal.

Para citar apenas um livro que todos conhecem, pelo menos de ouvir falar, a Bíblia já menciona o cobre. Você não acredita? Então, vamos mostrar o trecho para você. Ele se refere à descrição que Deus faz da Terra Prometida, quando fala de todas as coisas boas que essa terra poderá dar: a água, os cereais, as frutas. E em certo momento, Ele diz: "... terra onde vais comer o pão sem escassez - nela, nada te faltará! Terra cujas pedras são de ferro e de cujas montanhas extrairás o cobre." (Deuteronômio 8, 9)

Até mesmo esse livro, tão importante e sagrado para tantas pessoas, coloca os metais em lugar de destaque. Veja que, ao lado do pão, essencial à nossa sobrevivência, estão o ferro e o cobre. Você pode imaginar por quê?

Bem, naquele tempo, como hoje, não bastava dominar a tecnologia do material, ou seja, saber como obtê-lo e transformá-lo em armas, objetos e ferramentas. Era muito importante possuir as reservas minerais que fornecessem a matéria-prima para a obtenção do material. Dominar um território que possuísse esse tipo de riqueza era, pois, ter poder. Dizem até que as famosas minas do Rei Salomão, um importante e poderoso rei também citado na Bíblia, eram minas de ... cobre!

Com essas histórias que acabamos de contar, provavelmente você deve estar muito curioso para saber mais sobre o cobre. Fique ligado, então, porque esse é o assunto da nossa aula.

Propriedades do cobre e algumas aplicações

Por que será que o cobre foi o primeiro metal que o homem utilizou? Provavelmente as cores do minério devem ter sido o detalhe que chamou a atenção dos nossos antepassados pré-históricos.

Acostumados a trabalhar com a pedra para fazer seus instrumentos, eles devem ter imaginado que aquilo também era uma pedra, só que mais bonita. E começaram a bater nela com suas ferramentas. Nesse momento, descobriram que havia alguma coisa de diferente na "pedra". Perceberam, por exemplo, que aquilo era mais mole e muito mais fácil de trabalhar que as pedras que conheciam. Viram também que não lascava e que, quanto mais batiam na "pedra", mais dura ela ficava.

Inicialmente, por causa da cor e da possibilidade de trabalhar o metal a frio, o homem deve ter usado o cobre principalmente para fazer objetos de adorno: brincos, colares, pulseiras. Depois, percebendo as enormes possibilidades do material, passou a fabricar outros tipos de objetos: vasilhas, taças, armas e ferramentas. No antigo Egito, por exemplo, cunhas e serras feitas de cobre foram usadas na construção das pirâmides.

Mas, afinal, o que é o cobre? O cobre é um metal não-ferroso e não magnético que se funde a 1.080ºC e, depois da prata, é o melhor condutor de eletricidade e calor. É um metal dúctil e maleável que pode ser laminado a frio ou a quente. Ao ser laminado a frio, estirado ou estampado, ele adquire um endurecimento superficial que aumenta sua resistência, porém diminui sua maleabilidade. Isso o torna mais frágil, o que é corrigido com o tratamento térmico.

Em contato com o ar seco e em temperatura ambiente, o cobre não sofre alterações, isto é, não se oxida. Em contato com o ar úmido, no entanto, ele se recobre de uma camada esverdeada

popularmente conhecida por azinhavre, ou “zinabre” (carbonato básico de cobre).

O azinhavre impede a oxidação do cobre, mas é prejudicial à saúde. Por isso, recomenda-se lavar as mãos sempre que se manusear peças de cobre.

O cobre é um metal relativamente escasso. Há somente 0,007% de cobre na crosta terrestre e, como vem sendo usado há milhares de anos, seu custo é alto em relação a outros metais mais abundantes. Por isso, para muitas aplicações o cobre vem sendo substituído pelo alumínio.

Por suas características, o cobre é usado nas seguintes aplicações: componentes de radar, enrolamento de rotores para geradores e motores, trilhas de circuitos impressos, caldeiras, tachos, alambiques, tanques, câmaras de esterilização, permutadores de calor, radiadores e juntas para indústria automotiva, peças para aparelhos de ar condicionado e refrigeradores, condutores para gás e águas pluviais etc.

O cobre também pode ser usado como elemento de liga, geralmente adicionado para aumentar a resistência à corrosão. É o caso, por exemplo, do aço ao carbono: adiciona-se cobre ao aço quando se deseja melhorar sua resistência à corrosão. Em relação ao alumínio, a adição de cobre confere a essa liga maior resistência mecânica.

Fique por dentro

O Brasil tem jazidas de cobre no Rio Grande do Sul, São Paulo, Goiás e Bahia. No entanto, os maiores produtores mundiais são: Chile (América do Sul), Zâmbia (África) e Estados Unidos (América do Norte).

Para parar e estudar

Vamos parar um pouco para que você possa estudar esta parte da aula. Para ajudá-lo nessa tarefa, temos alguns exercícios a

seguir. Leia tudo de novo desde o começo, prestando bastante atenção. Depois faça os exercícios.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) Escreva com suas palavras, pelo menos quatro características do cobre.

b) Esta primeira parte da aula cita três processos de conformação para trabalhar o cobre. Quais são eles?

c) Qual é a característica do cobre que o torna ideal para ser utilizado como elemento de liga com o alumínio?

d) Cite três produtos em que se usa cobre para sua fabricação.

2. Escreva **V** ou **F** conforme as frases abaixo sejam verdadeiras ou falsas.

a) ( ) O cobre é um metal não ferroso;

b) ( ) Por não ser magnético, o cobre é um bom condutor de calor e de eletricidade;

c) ( ) O cobre tem sua resistência diminuída e sua maleabilidade aumentada ao ser laminado, estirado ou estampado;

d) ( ) O cobre é adicionado como elemento de liga ao aço quando se pretende melhorar sua resistência à corrosão;

e) ( ) O cobre se oxida em temperatura ambiente, quando em contato com o ar seco;

f) ( ) O azinhavre impede que o cobre continue a se oxidar, mas é prejudicial à saúde.

3. Assinale com um **X** a alternativa que completa corretamente a seguinte afirmação: “Uma das qualidades que torna o cobre o material mais adequado para a fabricação de cabos e condutores elétricos é...”

a) ( ) sua baixa resistência à tração;

b) ( ) sua baixa condutividade e alta ductilidade;

c) ( ) sua ductilidade e ótima conditividade elétrica;

d) ( ) sua alta resistência à tração e baixa condutividade.

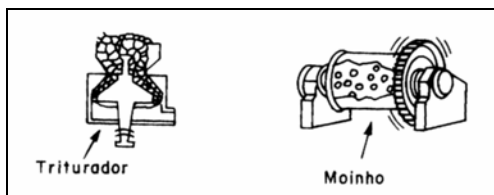
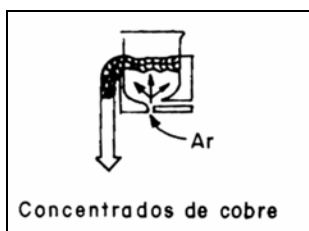
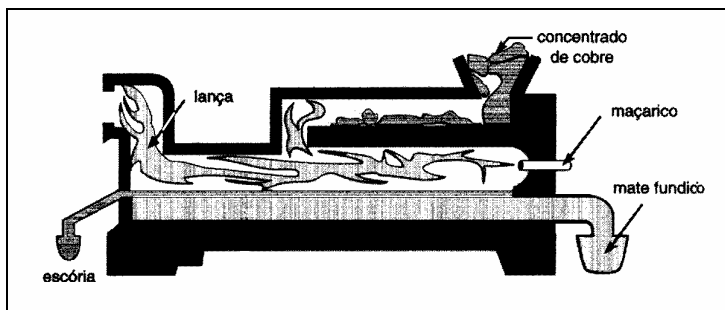
Obtenção do cobre

Como você viu até aqui, o cobre oferece muitas vantagens para sua utilização. Mas, como sempre, nessa história toda, existe um problema. O cobre, na forma livre, é encontrado somente em pequenas quantidades na natureza. A maior parte está escondida sob a forma de combinação com outros minerais. E os minérios que permitem a exploração econômica do cobre são à **calcopirita** que é uma mistura de cobre, ferro e enxofre ($Cu_2S \cdot Fe_2S_3$), e a **calcosita**, composta de cobre e enxofre (Cu_2S).

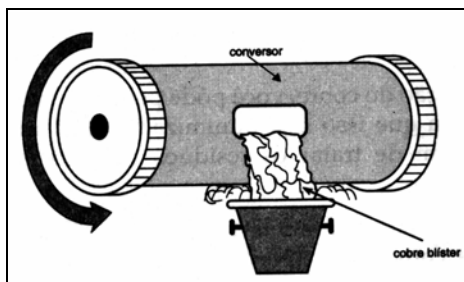
Dica tecnológica
A **calcopirita** e a **calcosita** - os dois minérios mais importantes para a obtenção econômica do cobre - têm enxofre em sua composição. Por causa disso, eles são chamados de minérios sulfurosos. E, por serem sulfurosos, não se "molham" quando são colocados em água com produtos químicos.

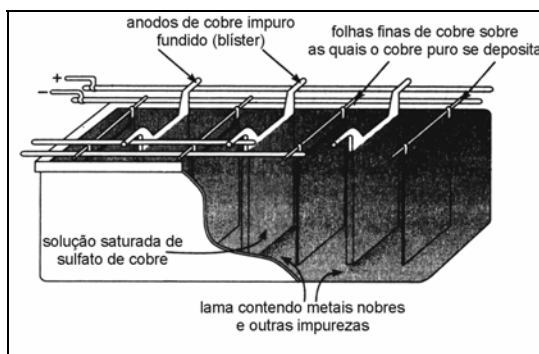
Por estar "escondido" dentro do minério, combinado com outros elementos, para que se obtenha o metal, os minérios devem passar por um processo que provoca muitas reações químicas e é composto de várias etapas:

1. Trituração e moagem;
2. Flotação ou concentração;
3. Decantação e filtragem;
4. Obtenção do mate;
5. Obtenção do cobre blíster;
6. Refino.

Na etapa de trituração e moagem, o minério passa por um triturador e depois por um moinho de bolas no qual é moído até que os pedacinhos atinjam um tamanho entre 0,05 e 0,5 mm.

Em seguida, o minério moído é colocado em uma máquina cheia de água misturada a produtos químicos. Na base dessa máquina existe uma entrada por onde o ar é soprado. As partículas que não contêm cobre são encharcadas pela solução de água e produtos químicos, formam um lodo, chamado ganga, e vão para o fundo do tanque. Como o minério sulfuroso flutua, porque não se mistura na água, o sulfeto de cobre e o sulfeto de ferro fixam-se nas bolhas de ar sopradas, formando uma espuma concentrada na superfície do tanque, a qual é recolhida e desidratada. Essa etapa chama-se **flotação** ou concentração.

A terceira etapa é a **decantação** e **filtragem**, quando se obtém um concentrado com 15 a 30% de cobre.

Na quarta etapa, o concentrado é levado juntamente com fundentes a um forno de chama direta, chamado de revérbero. Grande parte do enxofre e de impurezas como o arsênio e o antimônio, que estão dentro do concentrado, são eliminados. Os sulfetos de ferro e cobre são transformados em óxidos. O material que sai dessa etapa apresenta entre 35 e 55% de concentração de cobre e é chamado de mate.

Para retirar o enxofre e o ferro do mate, este é levado aos conversores para a oxidação. No conversor, o ferro se oxida e se une à sílica para ser transformado em escória, que é eliminada. Depois, o enxofre que sobrou também é eliminado sob a forma de

gás. O cobre bruto obtido nessa etapa recebe o nome de **blíster**, e apresenta uma pureza entre 98% e 99,5% de cobre, com impurezas como antimônio, bismuto, chumbo, níquel etc., e também metais nobres, como ouro e prata.

A refinação do blíster é a última etapa do processo de obtenção do cobre. Essa refinação pode ser térmica ou eletrolítica. Na refinação térmica, o blíster é fundido e parte das impurezas restantes é eliminada. O cobre purificado, assim obtido, contém um nível de pureza de 99,9%, sendo o mais utilizado comercialmente. Com ele fundem-se lingotes que serão transformados em chapas, tarugos, barras, fios, tubos etc.

A refinação eletrolítica é feita por eletrólise. Pela passagem de uma corrente elétrica por uma solução saturada de sulfato de cobre com 15% de ácido sulfúrico, o anodo feito de cobre impuro é decomposto. O cobre puro é depositado nos cátodos feitos de folhas finas de cobre puro.

Dica tecnológica

O anodo usado na refinação eletrolítica é fabricado com cobre blíster.

As impurezas depositam-se no fundo do tanque, formando a lama ou barro anódico. Essa lama contém metais nobres como o ouro e a prata, que são recuperados por meio de outros processos de separação. A recuperação desses metais é, por si só, suficiente para pagar o custo da obtenção do cobre eletrolítico cujo grau de

pureza é de 99,99%. Esse material é usado na indústria eletroeletrônica e na fabricação de ligas especiais.

Dica tecnológica
O cobre é totalmente reciclável. O aproveitamento da sucata desse metal permite uma grande economia de matéria-prima.

Existem também as ligas em que o cobre é o elemento dominante. É o caso do bronze e do latão. Mas, isso é uma outra história que fica para a próxima aula.

Produção de cobre e ambiente

Pela descrição do processo de obtenção do cobre, você pôde perceber que se trata de um processo poluidor. Para que isso seja minimizado, existem medidas que devem ser tomadas a fim de tratar os resíduos poluidores resultantes desse processo.

Assim, sistemas de filtros devem ser usados para coletar o pó gerado pelos gases dos calcinadores, fundidores e conversores. Nessa operação, tem-se como resultado não só a proteção ambiental mas também o ganho econômico, com a recuperação de metais preciosos existentes nessa poeira.

Essas partículas de poeira devem ser pelotizadas, isto é, transformadas em grãos maiores antes de serem recicladas. O dióxido de enxofre dos gases é convertido em ácido sulfúrico. As escórias podem ser processadas e transformadas em produtos comercializáveis. As soluções poluidoras são recicladas ou neutralizadas, tornando-se inofensivas ao ambiente.

O desenvolvimento tecnológico permite que essas medidas sejam tomadas e, a médio e longo prazos, traz o retorno do investimento feito na instalação dos filtros e estações de tratamento, uma vez que a empresa passa a transformar os elementos poluidores em subprodutos que podem ser comercializados. Além disso, a consciência da importância do meio ambiente para uma melhor

qualidade de vida deve estar sempre presente em nossas mentes. Pense nisso!

Para parar e estudar

Agora, você vai reler e estudar cuidadosamente esta segunda parte da aula e fazer os exercícios a seguir.

Exercícios

4. Assinale com um **X** a alternativa que completa corretamente a seguinte afirmação: "Os minérios que permitem a exploração econômica do cobre são:

a) ( ) magnetita e perlita;
b) ( ) hematita e ferrita;
c) ( ) calcopirita e calcosita;
d) ( ) hematita e perlita.

5. Registre os números da coluna B nos espaços próprios da coluna A, fazendo corresponder as etapas do processo com sua denominação correta.

Coluna A

a) ( ) Trituração e moagem.
b) ( ) Flotação ou concentração.
c) ( ) Decantação e filtragem.
d) ( ) Obtenção do mate.
e) ( ) Obtenção do cobre blíster.
f) ( ) Refino.

Coluna B

1. Nessa etapa obtem-se um concentrado com 15 a 30% de cobre.
2. Etapa na qual, com a flutuação do minério, forma-se uma espuma concentrada rica em cobre na superfície da solução de água e produtos químicos.
3. Etapa em que as impurezas restantes são eliminadas pela refinação térmica ou eletrolítica.
4. Nessa etapa, o concentrado de cobre é levado juntamente com fundentes a um forno de revérbero, onde se obtêm um sulfeto de cobre e de ferro que contém 35 a 55% de cobre.
5. Etapa em que o minério é moído até que os pedacinhos atinjam um tamanho entre 0,05 e 0,5 mm.
6. Nessa etapa, o mate é colocado em conversores

para a retirada do ferro e do enxofre.

6. Localize, no processo de obtenção do cobre, quais as etapas que, na sua opinião, são mais agressoras ao ambiente. Escreva o nome delas e explique por que você as escolheu.

Gabarito

1. **a)** São várias as características que o cobre apresenta. Dentre elas, podemos citar que é um excelente condutor de eletricidade e calor, é um metal não-ferroso e não-magnético, pode ser laminado a frio ou a quente e ainda pode ser utilizado como elemento de liga.

b) Laminado, estampado ou estirado.

c) A adição do cobre, como liga com o alumínio confere a essa liga maior resistência mecânica.

d) Enrolamento de motores, condutores de gás, caldeiras, radiadores etc.

2. **a)** V
b) V
c) F
d) V
e) F
f) V

3. c

4. c

5. **a)** 5
b) 2
c) 1
d) 4
e) 6
f) 3

6.
- <u>Mineração</u> porque retira a camada de vegetação que protege o solo.
- <u>Calcinação</u>, <u>fundição</u>, <u>conversão</u> - porque geram gases poluidores.
- **Flotação**, <u>decantação</u> e <u>filtragem</u> - produzem lama e água com produtos químicos.

Na aula anterior, vimos que o cobre é o “avô” de todos os metais. Usado desde a mais longínqua Antigüidade, esse metal tem acompanhado o homem em seu caminho rumo à sofisticação tecnológica. Atualmente, a importância do cobre na vida moderna é indiscutível. Sem ele, seria impossível acender uma lâmpada ou ligar a televisão.

O mesmo se pode dizer sobre as ligas de cobre usadas tanto na indústria eletroeletrônica quanto na indústria mecânica. Como todas as outras ligas, elas melhoraram as propriedades do cobre.

Algumas delas foram descobertas por acaso, como no caso do bronze; outras foram criadas propositadamente para atender a necessidades especiais, como no caso do constantan. E mesmo quando não nos damos conta disso, elas estão presentes nas coisas que nos cercam.

Vamos, então, nesta aula, estudar as ligas de cobre. Vamos conhecer os materiais que as formam, suas características e como são empregadas. É um assunto interessante. Acompanhe conosco.

O bronze

Vamos começar nosso estudo pela liga mais antiga que se conhece: o bronze. Formado por cobre (Cu) e estanho (Sn), foi descoberto provavelmente por puro acaso, pois esses metais podem ser encontrados juntos na natureza. Isso aconteceu por

volta de 4000 a.C. no Oriente Próximo, na região onde hoje estão o Irã, a Jordânia, o Estado de Israel, a Síria e o Líbano.

Fique por dentro
Quando o Rei Salomão começou a construir o Templo em Jerusalém, ele chamou um famoso artesão chamado Hiran para que fabricasse em bronze todos os objetos de culto e decoração. Está na Bíblia. Confira!

O bronze apresenta elevada dureza e boa resistência mecânica e à corrosão, além de ser um bom condutor de eletricidade.

Nas ligas usadas atualmente, a proporção do estanho adicionado ao cobre é de até 12%. Como já sabemos, essa variação é determinada pela utilização e, conseqüentemente, pelas propriedades que se quer aproveitar.

Assim, o bronze com até 10% de estanho pode ser laminado e estirado e tem alta resistência à tração, à corrosão e à fadiga. As ligas com essa faixa de proporção de estanho são usadas na fabricação de parafusos e engrenagens para trabalho pesado, mancais e componentes que suportam pesadas cargas de compressão, tubos, componentes para a indústria têxtil, química e de papel, varetas e eletrodos para soldagem.

O bronze, que contém mais de 12% de estanho, antigamente era usado na fabricação de canhões e sinos.

A liga de cobre e estanho que é desoxidada com fósforo, chama-se **bronze fosforoso**. Um bronze bastante utilizado é o que contém 98,7% de cobre e 1,3% de estanho. Esse tipo de bronze pode ser conformado por dobramento, recalcamento, prensagem e forjamento em matrizes, sendo facilmente unido por meio de solda forte, de solda de prata e solda por fusão. Suas aplicações típicas estão na fabricação de contatos elétricos e mangueiras flexíveis.

Solda forte é o mesmo que brasagem, ou seja, o processo de solda no qual o material de adição sempre se funde a uma

temperatura inferior à do ponto de fusão das peças a serem unidas.
A liga de bronze também pode receber pequenas quantidades de outros elementos como o chumbo, o fósforo ou o zinco. Quando se adiciona o chumbo, há uma melhora na usinabilidade. A adição do fósforo oxida a liga e melhora a qualidade das peças que sofrem desgaste por fricção. O zinco, por sua vez, eleva a resistência ao desgaste.

O desenvolvimento da tecnologia dos materiais levou à criação dos bronzes especiais que não contêm estanho. Essas ligas têm alta resistência mecânica, resistência ao calor e à corrosão. Dentro desse grupo está o **bronze de alumínio** que normalmente contém até 13% de alumínio (Al). Ele é empregado na laminação a frio de chapas resistentes à corrosão, na fabricação de tubos de condensadores, evaporadores e trocadores de calor; recipientes para a indústria química; autoclaves; instalações criogênicas, componentes de torres de resfriamento; engrenagens e ferramentas para a conformação de plásticos; hastes e hélices navais; buchas e peças resistentes à corrosão.

O **bronze ao silício**, com até 4% de silício (Si), apresenta alta resistência à ruptura e alta tenacidade. Essa liga é usada na fabricação de peças para a indústria naval, pregos, parafusos, tanques para água quente, tubos para trocadores de calor e caldeiras.

O **bronze ao berílio** geralmente contém até 2% de berílio (Be). É uma liga que tem alta resistência à corrosão e à fadiga, relativamente alta condutividade elétrica e alta dureza, conservando a tenacidade. Essas características são adquiridas após o tratamento térmico. Por sua alta resistência mecânica e propriedades antifaiscantes, essa liga é especialmente indicada para equipamentos de soldagem e ferramentas elétricas não faiscantes.

Para parar e estudar

Parece que você já tem informações suficientes para dar uma parada e estudar um pouco. Para isso, use os exercícios a seguir.

Exercício

1. Registre os números da coluna **B** nos espaços próprios da coluna **A**, fazendo corresponder a aplicação com sua respectiva liga.

Coluna A

a) ( ) Bronze com até 10% de estanho.
b) ( ) Bronze fosforoso.
c) ( ) Bronze de alumínio.
d) ( ) Bronze ao silício.
e) ( ) Bronze ao berilo.

Coluna B

1. Parafusos, engrenagens para trabalho pesado, mancais, eletrodos para soldagem.
2. Equipamentos de soldagem.
3. Contatos elétricos e mangueiras flexíveis.
4. Trocadores de calor, tubos para água do mar, hastes e hélices navais.
5. Peças hidráulicas para a indústria naval.

O latão

O latão é a liga de cobre (Cu) e zinco (Zn) que você provavelmente associa a objetos de decoração. É aquele metal amarelo usado em acabamento de móveis e fechaduras, por exemplo.

Essa liga contém entre 5 e 45% de zinco. Sua temperatura de fusão varia de 800ºC a 1.070ºC, dependendo do teor de zinco que ele apresenta. Em geral, quanto mais zinco o latão contiver, mais baixa será sua temperatura de fusão.

Uma coisa que é interessante saber, é que o latão varia de cor conforme a porcentagem do cobre presente na liga. Essa informação está resumida na tabela a seguir.

Porcentagem de zinco (%)	**2**	**10**	**15 a 20**	**30 a 35**	**40**

cor	Cobre	Ouro	Avermelhado (Latão vermelho)	Amarelo brilhante	Amarelo claro (Latão amarelo)

É uma liga dúctil, maleável e boa condutora de eletricidade e calor; tem boa resistência mecânica e excelente resistência à corrosão. Ela pode ser fundida, forjada, laminada e estirada a frio.

Quando contém até 30% de zinco, o latão é facilmente conformado por estiramento, corte, dobramento, mandrilagem e usinagem. Pode ser unido por solda de estanho e solda de prata.

O latão aceita quase todos os métodos de conformação a quente e a frio e a maioria dos processos de solda. Nessa proporção, o latão é usado para a fabricação de cartuchos de munição, núcleos de radiadores, rebites, carcaças de extintores, tubos de trocadores de calor e evaporadores. O latão que tem entre 40 a 45% de zinco é empregado na fabricação de barras para enchimento usadas na solda forte de aços-carbono, ferro fundido, latão e outras ligas.

A fim de melhorar a resistência mecânica, a usinabilidade e a resistência à corrosão do latão, outros elementos de liga são adicionados a sua composição. São eles o chumbo, o estanho e o níquel.

O **latão ao chumbo** contém 1 a 3% de chumbo. Apresenta ótima usinabilidade e é usado para fabricar peças por estampagem a quente que necessitam de posterior usinagem.

O **latão ao estanho** tem até 2% de estanho e é altamente resistente à corrosão em atmosferas marinhas. Por isso, é empregado na fabricação de peças para a construção de barcos.
O **latão ao níquel** é usado no lugar do bronze para fabricar molas e casquilhos de mancais.

Para parar e estudar

Vamos dar mais uma paradinha? É só uma pequena pausa para você reler esta parte da aula e fazer os exercícios a seguir.

Exercícios

2. Escreva **V** ou **F**, conforme as sentenças sejam verdadeiras ou falsas:

a) ( ) A temperatura de fusão da liga de cobre e zinco varia de 800ºC a 1.070ºC, dependendo do teor de zinco que ele apresenta.

b) ( ) O metal amarelo usado no acabamento de móveis e fechaduras é uma liga de cobre e estanho.

c) ( ) O latão cuja liga contém de 40 a 45% de zinco, é empregado na fabricação de barras para enchimento usadas em solda forte.

d) ( ) O chumbo, o estanho e o níquel melhoram a resistência mecânica e à corrosão, e a usinabilidade do latão.

e) ( ) Na fabricação de molas e casquilhos de mancais, o latão ao chumbo é empregado em substituição ao bronze.

f) ( ) Na fabricação de peças para a construção de barcos, usa-se latão ao estanho que é altamente resistente à corrosão.

g) ( ) O latão que contém até 30% de zinco pode ser conformado a quente e a frio.

h) ( ) Com 30% de zinco, o latão é facilmente conformado por estiramento e dobramento.

i) ( ) Na fabricação de peças por estampagem a quente que necessitem de posterior usinagem, o latão ao chumbo com 1 a 3% de chumbo apresenta ótima usinabilidade.

3. Reescreva corretamente as sentenças que você assinalou **F**.

Ligas de cobre e níquel

As últimas ligas da família do cobre são aquelas em que o níquel participa em proporções que variam entre 5 e 50%.

Essas ligas têm boa ductibilidade, boa resistência mecânica e à oxidação, e boa condutividade térmica. São facilmente conformáveis, podendo ser transformadas em chapas, tiras, fios, tubos e barras. Elas podem ser unidas pela maioria dos métodos de solda forte e por solda de estanho.

Com uma proporção de até 30% de níquel, a liga é usada em tubulações hidráulicas e pneumáticas, moedas e medalhas e na fabricação de resistores, componentes de condensadores, tubos para trocadores de calor, casquilhos, condutos de água salgada, tubos de destiladores, resistores e condensadores.

As ligas com teores de níquel na faixa de 35 a 57% recebem o nome de **constantan** e são usadas para a fabricação de resistores e **termopares**.

Termopar é um sistema que mede as diferenças de temperatura. Ele é formado por dois fios de metais diferentes com as pontas soldadas. Quando elas estão em temperaturas diferentes, surge uma diferença de potencial, ou tensão, entre as duas. A escala de tensão corresponde a uma escala de temperatura e, assim, é possível obter o valor da diferença de temperatura desejado.

Para parar e estudar

Agora vamos dar um tempo para você estudar um pouco a liga de cobre e níquel. Releia esta parte da aula e faça os exercícios que preparamos para você.

Exercício

4. Responda:
- **a)** Cite três propriedades da liga cobre-níquel.
- **b)** Quais são os tipos de perfis nos quais a liga de cobre e níquel pode ser transformada?
- **c)** O que é o constantan e para que serve?

Normalização e produtos para comercialização

O cobre e suas ligas, assim como os outros metais, também têm suas formas comerciais padronizadas. Isso se tornou necessário porque, com o desenvolvimento tecnológico, novas ligas foram surgindo e seu número aumenta a cada dia.

As ligas de cobre são classificadas em dois grandes grupos: ligas **dúcteis**, ou para conformação, e ligas para **fundição**. Dentro dessas duas classificações, elas ainda são designadas de acordo com sua composição química. A norma brasileira onde isso está estabelecido é a NBR 7554, que é baseada na norma da ASTM (do inglês, American Society for Testing and Materials, que quer dizer Sociedade Americana para Testes e Materiais) dos Estados Unidos. De acordo com essas classificações, as ligas dúcteis são designadas da seguinte maneira.

Classe	Liga	Designação
C 1XXXX	Cobre puro e ligas com alto teor de cobre.	Cobre
C 2XXXX	Cobre-zinco	Latões
C 3XXXX	Cobre-zinco-chumbo	Latões com chumbo
C 4XXXX	Cobre-zinco-estanho	Latões especiais com estanho
C 5XXXX	Cobre-estanho	Bronzes
C 6XXXX	Cobre-alumínio, cobre-silício, cobre-zinco (especiais)	Bronzes de alumínio, bronze de silício. Latões especiais
C 7XXXX	Cobre-níquel ou cobre-níquel-zinco	Alpacas

Como você pôde observar na tabela, as ligas são identificadas pela letra C seguida de cinco algarismos. O primeiro ou os dois primeiros algarismos indicam a classe do material e os dois últimos referem-se à identificação desse material. Vamos ver um exemplo para que isso fique mais claro.

Imagine que você tem a liga C 22000. Esse código indica que é uma liga de cobre e zinco, conhecida popularmente como latão. Simples, não é?

Vamos ver agora, como se classificam as ligas de fundição.

Classe	Liga	Designação comum
C 80XXX a C 81100	Cobre puro	
C 81XXX a C 82XXX	Ligas com elevado teor de cobre (exceto 81100)	Cobre com pequenas adições
C 83XXX a C 84XXX	Cobre-estanho-zinco com ou sem chumbo e com teor de zinco igual ou maior que do estanho	Bronzes especiais.
C 85XXX	Cobre-zinco (com ou sem chumbo)	Latões
C 86XXX	Cobre-zinco	Latões especiais de elevada resistência mecânica
C 87XXX	Cobre-silício	Bronze de silício
C 90XXX a C 91XXX	Cobre-estanho; cobre-estanho-zinco com teor de zinco inferior ao de estanho	Bronzes Bronzes especiais
C 92XXX	Cobre-estanho com chumbo, Cobre-estanho-zinco com chumbo e teor de zinco inferior ao de estanho	Bronzes Bronzes especiais
C 93XXX a C 945XX	Cobre-estanho com elevado teor de chumbo; cobre-estanho-zinco com elevado teor de chumbo	Bronzes Bronzes especiais
C 947XX a C 949XX	Cobre-estanho-níquel com outros elementos	Bronzes com níquel
C 95XXX	Cobre-alumínio	Bronzes de alumínio
C 96XXX	Cobre-níquel-ferro	
C 97XXX	Cobre-níquel-zinco com outros elementos	Alpacas
C 98XXX	Cobre-chumbo	
C 99XXX	Ligas diversas	

Nesta segunda tabela, você pode observar que o sistema de designação é o mesmo. Vamos ver um exemplo para comprovar isso: liga C 94400. Observe que na tabela, você tem várias ligas da classe 9. A que escolhemos está entre 93XXX e 945XX. Portanto, a C 94400 é uma liga cobre-estanho com elevado teor

de chumbo ou uma liga de cobre-estanho-zinco com elevado teor de chumbo, designando um bronze comum ou especial. Para saber se é um bronze comum ou especial, é necessário consultar o catálogo do fabricante, que traz a composição química da liga.

As informações mais importantes sobre o cobre e suas ligas terminam aqui. Mas ainda há muita coisa a ser aprendida. Se você se interessou pelo assunto, vá a uma biblioteca e leia mais sobre ele. Pesquise os fabricantes de produtos de cobre na lista telefônica, anote o endereço e escreva, pedindo catálogos. Lembre-se de que quanto mais você souber, melhor profissional você será.

Para parar e estudar

E, como última atividade desta aula, faça os exercícios e o teste que preparamos para você.

Exercícios

5. Identifique as seguintes ligas de cobre.

a) C 33200 ....

b) C 42500 ....

c) C 72200 ....

d) C 95300 ....

e) C 85800 ....

Este último teste é só para você mesmo saber o quanto está ligado no assunto.

Avalie o que você aprendeu

6. Associe as ligas abaixo com suas respectivas aplicações.

a) ( ) Liga de bronze e alumínio.
b) ( ) Liga de cobre e estanho.
c) ( ) Liga de bronze ao silício.
d) ( ) Liga de bronze ao berilo.
e) ( ) Liga de cobre ao zinco.
f) ( ) Liga de latão ao chumbo.

1. Contatos elétricos; mangueiras flexíveis.
2. Recipientes para a indústria química.
3. Equipamentos de soldagem
4. Engrenagens e buchas.
5. Tanques para água quente, caldeiras.
6. Objetos de decoração; acabamento de móveis, fechaduras.
7. Peças estampadas
8. Ferramentas elétricas não faiscantes

Gabarito

1. **a)** 1
b) 3
c) 4
d) 5
e) 2

2. **a)** V
b) F
c) V
d) V
e) F
f) V
g) V
h) V
i) V

3. **b)** O metal amarelo usado no acabamento de móveis e fechaduras é uma liga de cobre (Cu) e Zinco (Zn)
e) O latão ao níquel substitui o bronze na fabricação de molas e casquilhos de mancais.

4. **a)** Boa condutibilidade, boa resistência mecânica e oxidação e boa condutividade.

b) Chapas, tiras, fios, tubos e barras

c) É uma liga de cobre e níquel e é utilizado na fabricação de termopares.

5. **a)** C 33200 - cobre, zinco e chumbo (latões com chumbo).

b) C 42500 - cobre, zinco e estanho (latões especiais com estanho).

c) C 72200 - cobre, níquel ou cobre níquel, zinco (alpacas).

d) C 95300 - cobre, alumínio (bronzes de alumínio).

e) C 85800 - cobre, zinco (latões com ou sem chumbo).

6. **a)** (2) contatos elétricos, mangueiras flexíveis.

b) (1) recipientes para a indústria química.

c) (4) equipamentos de soldagem.

d) (1) engrenagens e buchas.

e) (3) tanques para água quente, caldeiras.

f) (5) objetos de decoração, acabamento de móveis, fechaduras.

g) (6) peças estampadas.

h) (4) ferramentas elétricas não-faiscantes.

Todas as pessoas que se interessam um pouquinho por automobilismo, sabem o quanto as equipes de Fórmula 1 e Fórmula Indy, apenas para falar das mais famosas, pesquisam para tornar seus carros mais velozes, mais competitivos e mais seguros. E no meio de tudo o que os engenheiros calculam, desenham e experimentam, está o emprego de materiais que devem ser, ao mesmo tempo, leves e adequados para se construir o melhor carro da temporada.

O bom de tudo isso é que esses materiais, mais cedo ou mais tarde, acabam sendo usados na fabricação dos carros que nós, que não somos pilotos de corrida, dirigimos todos os dias. Basta dizer que metais como o alumínio e o magnésio, que antes dos anos 90 não eram usados, passaram a estar presentes em ligas empregadas na fabricação de automóveis. Peças como os pedais de freio e embreagem, que precisam ser ao mesmo tempo leves e resistentes, são fabricadas com ligas de magnésio.

E por que essas ligas são empregadas? Por serem mais leves, permitem que o carro gaste menos energia para se movimentar e, por conseqüência, tenha um desempenho melhor com economia de combustível.

Outros metais como o titânio, por sua especial resistência à corrosão, são usados em próteses e implantes cirúrgicos. Você não acredita? De que você acha que são feitas as válvulas artificiais que são colocadas no coração de pessoas com problemas cardíacos? De titânio!

No entanto, esses materiais custam caro. Isso acontece porque os metais usados, como o magnésio ou o titânio e a tecnologia de sua produção exigem muita pesquisa para seu desenvolvimento.

Nesta aula vamos conhecer a "família" dos metais não-ferrosos: o magnésio, o níquel, o titânio, o zinco, o chumbo e o estanho. Eles não foram agrupados por serem menos importantes, mas porque seu emprego se restringe aos casos em que é necessário aproveitar alguma de suas propriedades características e que os metais que estudamos até agora não têm.

Metais de propriedades especiais

Do ponto de vista estrutural e econômico, nenhum metal se compara ao aço, ao aço-liga ou ao ferro fundido.

Porém, muitas vezes, o tipo de trabalho a ser realizado ou o produto a ser fabricado exige propriedades que os metais ferrosos não possuem, ou necessitam que sejam melhoradas.

São propriedades como a resistência à corrosão, a baixa densidade, a condutibilidade elétrica ou térmica, a resistência mecânica, a ductilidade e a facilidade de ser fundido.

Tudo isso você encontra nos metais não-ferrosos. Então, vamos começar nosso estudo pelo níquel.

O níquel e suas ligas

O níquel, cujo símbolo químico é Ni e ponto de fusão é 1452ºC, também faz parte do grupo dos metais mais antigos conhecidos e usados pelo homem. É um metal bastante versátil, capaz de formar ligas com inúmeros metais, inclusive o aço.

Para a composição de ligas, o níquel pode receber adições de cobre (Ni-Cu), silício (Ni-Si) ou molibdênio (Ni-Mo). Pode também formar ligas com cromo e ferro (Ni-Cr-Fe) e cromo e molibdênio

(Ni-Cr-Mo). Ou ainda, com cromo, ferro, molibdênio e cobre (Ni-Cr-Fe-Mo-Cu).

Como já dissemos, devido ao alto custo, os metais não-ferrosos e suas respectivas ligas têm uso limitado a aplicações especiais. No caso do níquel, por exemplo, as ligas custam de vinte a cem vezes mais que os aços inoxidáveis.

Isso torna seu uso limitado a aplicações especiais tais como: turbinas de aviões, caldeiras de vapor, turbocompressores e válvulas de exaustão de motores, ferramentas para injeção e trabalho a quente, equipamentos para tratamento térmico etc.

São aplicações que precisam de características como alta resistência à corrosão e ao calor.

O níquel puro e suas ligas podem ser endurecidos por meio de trabalho a frio (encruamento). Elas também podem ser endurecidas pela formação de solução sólida ou por tratamento térmico de solubilização e precipitação.

Para tornar seu estudo mais fácil, mostramos a seguir um quadro que reúne as características adquiridas pelo níquel com a adição de cada elemento de liga e sua respectiva utilização.

Elemento adicionado	Influência	Aplicações
Cobre	Nas ligas monel, aumenta a re-sistência à corrosão e a resistência mecânica; reduz o custo nas ligas de cromo, ferro e molibdênio; em teores em torno de 2% reduz ação corrosiva em meios ácidos e oxidantes.	Equipamento de processamento de produtos de petróleo e petroquímicos; aquecedores de água e trocadores de calor; válvulas, bombas, eixos, parafusos, hélices e fixadores usados em construção naval.
Cromo	Eleva a resistência à corrosão em meios oxidantes e a resistência mecânica em altas temperaturas.	Equipamentos de processamento químico, equipamentos de tratamento térmico; geradores de vapor, componentes de for-nos; equipamentos de controle de poluição; componentes de equipamentos eletrônicos.
Ferro	Reduz o custo das ligas; aumenta a resistência à corrosão associada à cavitação e à erosão.	Equipamentos de processamento químico; geradores de vapor; componentes de fornos; equipamentos de controle de poluição.
Molibidênio	Eleva a resistência à corrosão em meios redutores; aumenta a re-sistência mecânica em altas temperaturas.	Componentes de turbinas a gás e de motores aeronáuticos; equipamentos de processamento químico.
Cromo-ferro + alumínio e titânio	Permitem a realização de tratamento térmico de solubilização e precipitação para endurecimento da liga.	Liga experimental para a indústria aeronáutica.

Para parar e estudar

Antes de continuar, estude esta parte da aula para que possamos ir em frente. Releia este trecho com cuidado e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

1. Complete as lacunas:

a) A utilização do alumínio e do .... na construção dos carros dos anos 90 melhoram o seu .... e ajudam na economia de ....

b) As próteses implantadas no corpo humano são feitas de .... porque esse material tem especial resistência à ....

c) Do ponto de vista estrutural e econômico, nenhum metal se compara ao ...., ao .... ou ao ....

d) Três propriedades que os metais ferrosos precisam ter melhoradas são: ...., ... e ....

e) Em razão de seu alto custo, as ligas de metais não-ferrosos têm o uso .... a aplicações ....

2. Relacione o elemento de liga de níquel à sua aplicação:

a) ( ) Cromo.	**1.** Componentes de equipamentos eletrônicos.
b) ( ) Ferro.	**2.** Aquecedores de água e trocadores de calor.
c) ( ) Molibdênio.	**3.** Componentes de turbinas a gás.
d) ( ) Cobre.	**4.** Hélices e fixadores usados em construção naval.
	5. Equipamentos de tratamento térmico.

O magnésio e suas ligas

O magnésio, cujo símbolo químico é Mg, é caracterizado por sua leveza, pois tem 1/5 da densidade do ferro. Funde-se a 651ºC e oxida-se com facilidade. A maior utilização do magnésio (50%) é

como elemento de liga do alumínio. É usado também na fabricação do ferro fundido nodular e na redução de metais (35%). Somente 15% são usados na fabricação de produtos.

As ligas de magnésio podem ser fundidas ou conformadas por laminação, forjamento ou extrusão. Elas têm como características baixa densidade, alta resistência e dureza em baixas e altas temperaturas e elevada resistência à corrosão em temperatura ambiente. As propriedades mecânicas de algumas delas podem ser melhoradas por tratamento térmico. Essas características fazem com que elas se tornem adequadas à fabricação de peças de embreagem, suporte de pedal de freio, trava de coluna de direção; ferramentas manuais, calandras, máquinas de impressão, componentes de máquinas de alta velocidade e componentes para a indústria aeroespacial. Estas informações estão resumidas no quadro a seguir:

Elemento adicionado	Influência	Aplicações
Alumínio e zinco	Boa resistência mecânica por conformação a frio	Indústria aeronáutica e automobilística:
Zinco e zircônio	Ductilidade e boa resistência mecânica por encruamento	rodas, caixas de manivela, tanques de combustível,
Alumínio e manganês	Alta resistência a impactos alta ductilidade.	pistões e outras peças de
Alumínio, zinco e manganês	Alta resistência à tração	motores a jato.

Para parar e estudar

Vamos dar mais uma paradinha para estudar. Use os exercícios a seguir para avaliar o seu progresso.

Exercício

3. Responda:

a) O que caracteriza o magnésio?

b) Onde o magnésio é mais usado?

c) Como as ligas de magnésio podem ser trabalhadas?

d) As ligas de magnésio são muito usadas na indústria aeronáutica e automobilística. Por quê?

O chumbo

O chumbo é um metal de cor acinzentada, pouco tenaz, porém dúctil e maleável. É bom condutor de eletricidade, embora não seja magnético, e mau condutor de calor. Funde-se a 327ºC. É facilmente laminado, pois é o mais mole dos metais pesados. Pode ser endurecido em liga com enxofre (S) ou antimônio (Sb). É resistente à água do mar e aos ácidos, mas é fortemente atacado por substâncias básicas. Oxida-se com facilidade em contato com o ar. Outras propriedades que permitem grande variedade de aplicações são: alta densidade, flexibilidade, alto coeficiente de expansão térmica, boa resistência à corrosão, condutibilidade elétrica, facilidade em se fundir e formar ligas com outros elementos.

O principal minério do qual o chumbo é extraído é a galena (PbS), cujo teor de chumbo varia entre 1 e 12%. Em geral, esse minério possui também prata. O processo de obtenção do chumbo tem várias etapas, mas as principais são: concentração por flotação, formação do aglomerado, redução dos óxidos, desargentação, ou seja, retirada da prata, destilação a vácuo e refino.

O chumbo é usado como isolante acústico e amortecedor de vibrações. É empregado também em juntas para vedação, em ligas para fabricação de mancais, gaxetas e arruelas. Ele pode ser laminado a espessuras de até 0,01 mm. Sua maior utilização (80%), entretanto, é na fabricação de baterias.

Vale lembrar que o chumbo é um metal que permite a reciclagem de sua sucata. No Brasil, o reaproveitamento dessa sucata corresponde a um terço das nossas necessidades dessa matéria-prima.

Ao chumbo pode-se acrescentar os seguintes elementos de liga: cobre (Cu), prata (Ag) e antimônio (Sb). Veja no quadro a seguir, as características que cada um desses elementos traz à respectiva liga e suas aplicações.

Elementos adicionais	Influência	Aplicações
Cobre (0,06%)	Resistência à corrosão	Equipamentos para processamento de ácido sulfúrico. Proteção catódica de estruturas marinhas.
Prata (2%)	Resistência à corrosão em atmosferas marinhas.	
Antimônio (1 A 9%)	Resistência mecânica	Revestimento de cabos elétricos; placas de baterias elétricas; grades de baterias para serviço pesado.

Fique por dentro

As principais jazidas de chumbo do Brasil encontram-se nos estados da Bahia, Paraná e Minas Gerais, que suprem a maior parte das necessidades internas desse metal.

Para parar e estudar

Só ler o texto, não é suficiente para aprender. Dê uma paradinha. Releia esta parte da aula e faça os exercícios a seguir. Eles o ajudarão a descobrir o que você ainda não sabe com segurança. Portanto, se você errar alguma coisa, volte ao texto. Lá estará a resposta para a sua dúvida.

Exercícios

4. Responda:

a) Quais são as propriedades que permitem grande variedade de aplicações do chumbo?

b) Cite duas propriedades mecânicas do chumbo.

5. Complete as lacunas:

a) O chumbo pode ser endurecido em liga com .... ou ....

b) A maior utilização do chumbo é na fabricação de................ ....

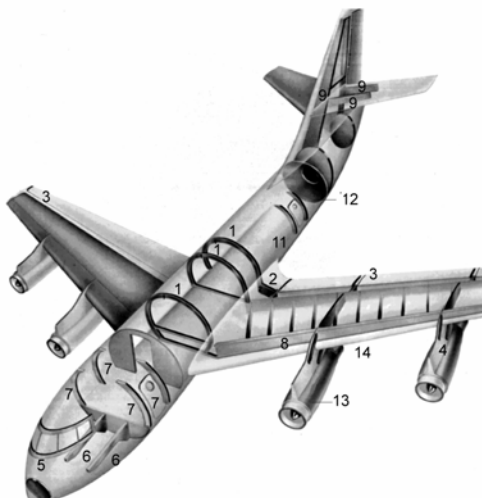
6. Relacione o elemento de liga de chumbo a sua aplicação.

a) ( ) Cobre
b) ( ) Prata.
c) ( ) Antimônio.

1. Proteção catódica de estruturas marinhas.
2. Placas de baterias elétricas.
3. Equipamentos para processamento de ácido sulfúrico.
4. Revestimento de cabos elétricos.

Titânio e suas ligas

O titânio é um metal não-ferroso que ganhou importância estratégica há somente 40 anos por sua alta resistência mecânica, alta resistência à corrosão e ter por volta de 55% da densidade do aço. O fato mais interessante a respeito do titânio é que, embora ele exista em grande quantidade na crosta terrestre, o custo de sua obtenção é muito alto.

Em contato com o ar, forma-se em sua superfície um óxido impermeável e protetor muito importante se ele estiver em um meio corrosivo. Disso decorre sua propriedade mais importante: a resistência à corrosão da água do mar e outras soluções de cloretos, aos hipocloritos e ao cloro úmido e a resistência ao ácido nítrico. Essa qualidade torna-o ideal para a fabricação de próteses humanas tais como componentes de válvulas cardíacas, placas e pinos para unir ossos, pois os fluidos que existem dentro do nosso corpo são soluções salinas, com PH ácido. Elas também contêm outros ácidos orgânicos aos quais o titânio é imune.

Os elementos que são adicionados às ligas resistente à corrosão são: paládio (Pd), molibdênio (Mo), alumínio (Al), níquel (Ni), manganês (Mn), vanádio (V) e estanho (Sn). Essas ligas são usadas na fabricação de próteses

Ligas de titânio com alumínio e estanho e alumínio e vanádio são usadas em aplicações muito especiais, pois apresentam resistência específica, ou seja, relação resistência mecânica/peso muito elevadas em temperaturas abaixo de zero (entre -196 e -269ºC). Por isso, elas são empregadas em vasos de pressão que fazem parte dos sistemas de controle de propulsão e reação dos foguetes que transportaram as naves Apollo e Saturno e o dos módulos

lunares. São empregadas também em rotores de bombas usadas para bombear hidrogênio líquido. Veja no quadro a seguir, o resumo destas informações.

Elemento adicionado	Influências	Aplicações
Alumínio, molibidênio, vanádio	Resistência a temperaturas elevadas.	Estruturas aeroespaciais.
Molibidênio, zircônio e estanho	Resistência mecânica e à corrosão sob tensão; menor ductilidade.	Geradores de turbinas a vapor e a gás.
Alumínio, molibidênio e silício	Elevada resistência específica e a altas temperaturas; resistência à corrosão.	Peças estruturais de naves supersônicas.
Molibidênio e níquel. Paládio.	Resistência à corrosão em salmoura a altas temperaturas e em meios oxidantes redutores.	Tanques e tubulações em indústrias químicas.

A ilustração a seguir mostra como as ligas metálicas que estudamos até agora estão presentes na construção de um avião, por exemplo.

Ligas de aço
1. Arcos que sustentam a fuselagem
2. Junção asa-fuselagem
3. Arcos dos flaps
4. Sustentação das gôndolas dos motores

Ligas leves

5. Caixilho das vidraças da cabine dos pilotos
6. Longarinas de sustentação da cabine dos pilotos
7. Caixilho da porta
8. Revestimento dos tanques de combustível
9. Estrutura do leme e dos estabilizadores do leme

Ligas leves em chapas

10. Nariz protetor do radar
11. Partes da fuselagem
12. Diafragma de separação entre a fuselagem e o cone da cauda

Ligas de titânio

13. Partes das gôndolas dos motores
14. Saídas das descargas dos motores

Para parar e estudar

Antes de continuar, estude mais este trecho da lição e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

7. Responda:

a) Qual é a propriedade mais importante do titânio?

b) Quais são as qualidades que tornam o titânio ideal para a fabricação de próteses a serem implantadas no corpo humano?

c) Quais são os elementos adicionados às ligas de titânio que as tornam resistentes à corrosão?

d) Quais as ligas de titânio que entraram na construção dos sistemas de controle de propulsão e reação dos foguetes que transportaram as naves Apollo e Saturno e por que foram usadas?

8. Relacione o elemento de liga a sua influência nas ligas de titânio:

a) ( ) Alumínio, molibdênio e vanádio.
b) ( ) Molibdênio, zircônio estanho.
c) ( ) Alumínio, molibdênio e silício.
d) ( ) Molibdênio e níquel.

1. Resistência à corrosão e salmoura a altas temperaturas;
2. Resistência a temperaturas elevadas;
3. Menor ductilidade;
4. Elevada resistência específica e a altas temperaturas.

9. Leia a reprodução de trechos de uma notícia publicada pelo jornal Folha de S. Paulo e faça comentários, baseando-se no que você estudou nesta parte da aula.

Especial A-2 Terça-Feira, 11 de abril de 1995 **via sp** FOLHA DE S.PAULO

TESE DA SEMANA

Dentista estuda uso de titânio em fratura

Estudar as causas da fratura de maxilar, avaliar a importância da tomografia computadorizada no seu diagnóstico e a eficácia das miniplacas de titânio na terapia foi o objetivo da dissertação de mestrado do médico e dentista Sérgio Luís de Miranda. As placas e parafusos, antes de aço, agora são substituídas pelas de titânio para conter os ossos quebrados . Segundo Miranda, as miniplacas de titânio apresentam alta biocompatibilidade, isto é, menor possibilidade de rejeição pelo organismo. O pesquisador concluiu que as placas foram eficientes para conter as fraturas e não alteram o perfeito fechamento da boca depois de concluído o tratamento.

Metais não-ferrosos para proteção de superfícies

Sempre que falamos em metais, uma das propriedades que mais nos interessa é a resistência à corrosão. Isso acontece porque a corrosão destrói os metais. Basta lembrar, por exemplo, que quando a gente vai comprar um carro usado, uma das maiores preocupações é procurar os pontos de ferrugem. Dependendo de onde eles estão, não tem negócio.

A única maneira de evitar a corrosão é tratar a superfície dos metais que não são resistentes a ela. Você pode fazer isso de diversos modos: pintando, fosfatizando, esmaltando, anodizando, dando banhos de cobre, zinco e estanho. Todos esses processos serão estudados em um módulo especial sobre tratamento de superfície. Mas, nesta aula sobre metais não-ferrosos, podemos falar sobre dois metais que são usados basicamente para esse tipo de processo.

Os dois metais não-ferrosos que faltam para serem estudados e que são usados para a proteção de superfícies metálicas contra a corrosão são o zinco e o estanho.

Vamos começar pelo **zinco**. Esse metal, cujo símbolo químico é Zn, funde-se a 420ºC e é produzido principalmente a partir do minério chamado blenda (ZnS). Ele é condutor de eletricidade, mas é um metal não-magnético. O ar seco não o ataca. O ar úmido, porém, causa a formação de uma película de óxido que protege o material. É mais barato que a maioria dos metais não-ferrosos.

O zinco é empregado como pigmento em tintas, como elemento de liga com o cobre, na produção do latão e, sobretudo, para proteger outros metais, principalmente o aço, por meio da galvanização.

Os elementos de liga que são adicionados ao zinco são o alumínio, o cobre e o magnésio. Essas ligas são usadas industrialmente para a fundição sob pressão e são conhecidas, comercialmente, como "zamac". Podem ser revestidas por eletrodeposição (cobreação, niquelação e cromação), por pintura, ou por verniz.

Permitem também a fundição por gravidade em moldes permanentes e são de fácil usinagem. Elas possuem elevada resistência à corrosão por agentes atmosféricos, desde que a umidade não seja muito elevada; resistem também a hidrocarbonetos (gasolina e óleos) e ao álcool.

Veja, no quadro a seguir, como cada elemento de liga influencia nas propriedades do zinco e quais são as respectivas aplicações.

Elemento adicionado	Influências	Aplicações
Alumínio	Aumenta sensivelmente a resistência e a dureza da liga.	Carburadores, bombas de combustível, maçanetas, frisos, metais sanitários, engrenagens, dobradiças, peças fundidas de formato complicado.
Magnésio (até 0,06%)	Inibe a corrosão entre os grãos da liga.	
Cobre (até 1,25%)	Aumenta a resistência à corrosão, a resistência mecânica e a dureza da liga.	

O **estanho** é o outro metal usado principalmente como proteção contra a corrosão. Seu símbolo químico é Sn e é extraído da cassiterita (SnO_2). É resistente à corrosão, bom condutor de eletricidade, porém não-magnético. É utilizado principalmente na folha de flandres, que é uma chapa de aço coberta com estanho comercialmente puro.

Essa chapa combina a resistência do aço com a resistência à corrosão, a facilidade de soldagem e a boa aparência do estanho. Esse material é usado basicamente na fabricação de latas para a embalagem de alimentos.

As ligas estanho-zinco e estanho-níquel usadas na estanhagem de peças para motocicletas e automóveis, ferramentas, partes de instrumentos científicos de precisão, protegem as peças contra a corrosão.

O estanho puro e ligado com antimônio e cobre é matéria-prima

para a produção de material de solda. A liga estanho-antimônio-cobre também é usada na produção de mancais e ligas de fusíveis.

Para parar e estudar

Com estes dois metais, terminamos o estudo dos materiais ferrosos e não-ferrosos. O que escrevemos aqui é só um resumo desse assunto que é muito vasto e interessante. Para você, que quer ser profissional da área de Mecânica, ele é também um dos mais importantes. Se você quiser saber mais sobre ele, vá à biblioteca de seu bairro, de sua cidade, do SESI, de sua empresa, de escolas técnicas, de faculdades. Procure informar-se sempre. Escreva para empresas produtoras desses materiais e peça catálogos e manuais técnicos. Quanto mais você estudar, mais saberá. E quanto mais você souber, melhor profissional se tornará. Por enquanto, estude bem a última parte da aula e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

10. Responda:

a) Na utilização do estanho e do zinco existe uma diferença em relação aos outros metais já estudados. Qual é ela?

b) Cite uma característica do zinco.

c) Cite uma característica do chumbo.

11. Complete as lacunas:

a) O zinco é empregado como .... em tintas; como elemento de .... com o cobre na produção do .... e sobretudo para .... outros metais.

b) Os elementos de liga que são adicionados ao zinco são o .... , o .... e o ....

c) As ligas de estanho- .... e estanho-....................... usadas na estanhagem de peças para .... e .... protegem as peças contra a ....

Avalie o que você aprendeu

12. Relacione o metal com suas principais características e aplicações.

a) ( ) Níquel.
b) ( ) Magnésio.
c) ( ) Chumbo.
d) ( ) Titânio.
e) ( ) Zinco.
f) ( ) Estanho.

1. É resistente à corrosão, condutor de eletricidade, porém não-magnético. Ligado com antimônio e cobre, é matéria-prima para a produção de material de solda.

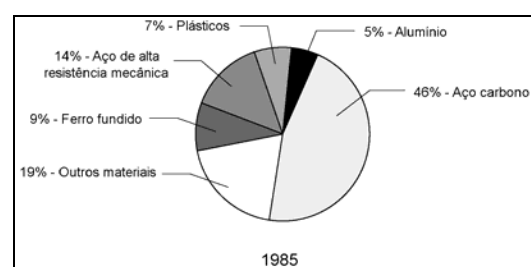
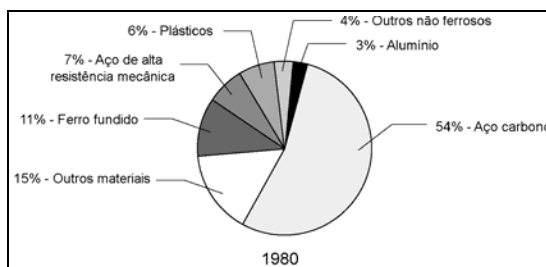
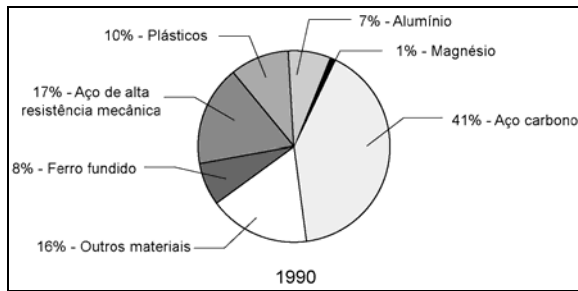
2. É caracterizado por sua leveza. A maior utilização desse metal é como elemento de liga. Suas ligas podem ser fundidas ou conformadas.

3. É um metal pouco tenaz, porém dúctil e maleável e é mau condutor de calor. Sua maior utilização é na fabricação de baterias.

4. Suas ligas são 20 a 100 vezes mais caras que os aços inoxidáveis. Isto torna seu uso limitado a aplicações especiais que precisam de características como alta resistência à corrosão e ao calor.

5. É condutor de eletricidade, mas é um metal não magnético. As ligas desse metal formadas com alumínio, cobre e magnésio são usadas industrialmente para fundição sobre pressão.

6. Tem alta resistência mecânica e alta resistência à corrosão. Em contato com o ar, forma-se em sua superfície um óxido impermeável e protetor muito importante se ele estiver em um meio corrosivo.

13. Os gráficos a seguir mostram a evolução da utilização de diferentes materiais na indústria automobilística nas décadas de 80 e 90. Observe os materiais que tiveram seu uso diminuído e os que tiveram uma maior utilização. Usando todas as informações que demos até aqui, comente essa evolução Justifique seu comentário e arrisque um palpite sobre qual será a tendência para o século XXI.

Gabarito

1. a) magnésio - desempenho - combustível.
b) titânio - corrosão.
c) aço - aço-liga - ferro fundido.
d) resistência à corrosão, à baixa densidade e a facilidade de ser fundido.
e) limitado - especiais.

2. a) 1 e 5
b) 5
c) 3
d) 2 e 4

3. a) Baixa densidade, alta resistência e dureza em baixa e altas temperaturas e elevada resistência à corrosão à temperatura ambiente.
b) Indústria automobilística e aeronáutica.
c) Laminação, forjamento ou extrusão.
d) Por sua boa resistência mecânica por conformação a frio; boa resistência mecânica por encruamento, alta resistência a impactos, alta ductibilidade e alta resistência à tração.

4. a) Alta densidade, flexibilidade, alto coeficiente de expansão térmica, boa resistência à corrosão, condutibilidade elétrica, facilidade em se fundir e formar ligas com outros elementos.
b) Ductilidade e baixa dureza.

5. a) enxofre (S) ou antimônio (Sb).
b) baterias.

6. **a)** 3 **b)** 1 **c)** 2 e 4

7. **a)** Alta resistência mecânica com baixa densidade.
   b) Resistência aos cloretos hipocloritos, ao cloro úmido e a resistência ao ácido nítrico.
   c) Paládio (Pd), molibdênio (Mo), alumínio (Al), Níquel (Ni), manganês (Mn), vanádio (Vl) e estanho (Sn).
   d) Alumínio e estanho, alumínio e vanádio. Foram usadas por sua resistência específica, mecânica/peso muito elevadas em temperaturas abaixo de zero.

8. **a)** 2
   b) 3
   c) 4
   d) 1

9. Tendo em vista sua alta resistência à corrosão e o fato der ser imune aos fluídos com Ph ácido que existem dentro de nosso corpo, o titânio veio substituir as placas e parafusos de aço, por apresentar alta biocompatibilidade (menor rejeição pelo organismo).

10. **a)** São utilizados, na maioria dos casos, como proteção às superfícies metálicas por possuírem elevada resistência à corrosão por agentes atmosféricos.
    b) É um material que se funde a 420ºC, condutor de eletricidade e é um metal não-magnético. Resiste também a hidrocarbonetos (gasolina e óleos) e ao álcool.
    c) Possui alta densidade e baixo ponto de fusão.

11. **a)** pigmento - liga - latão - proteger
    b) alumínio - cobre - magnésio
    c) zinco - níquel - motocicletas - automóveis - corrosão.

12. **a)** 4 **d)** 6
    b) 2 **e)** 5
    c) 3 **f)** 1

13. - Com a evolução dos processos e da tecnologia, gradativamente o aço-carbono foi abrindo espaço para outros materiais, como os não-ferrosos, por exemplo.

- O que se nota é que o aço de alta resistência mecânica e os plásticos vêm ocupando espaço a cada ano e, por razões econômicas e de qualidade, substituem com vantagens outros materiais.
- O magnésio, mais recentemente, vem entrando no mercado da manufatura, embora ainda meio timidamente.
- Em resumo, as ligas marcam presença e, para o futuro, é evidente a predominância desses materiais na produção de peças para a indústria automotiva e na metalurgia em geral.

Imagine uma daquelas manhãs bem frias, cheias de garoa e céu cinzento. Uma daquelas manhãs em que você bem que gostaria de ficar mais tempo na cama. Mas, tem o leite das crianças. Tem a prestação na loja de material de construção para pagar a laje para cobrir aquele quarto que você construiu. E, justo hoje, o seu vizinho, que é motorista de táxi e sempre dá uma carona até a metade do caminho, não vai poder ajudar. Ele "bobeou" na troca do óleo e o motor do carro fundiu. Você bem que tinha avisado que o motor estava com um barulho esquisito!...

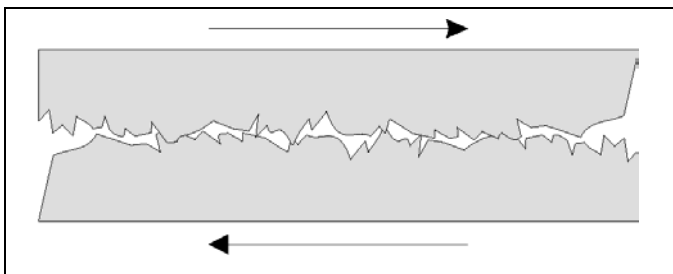
Você abre a porta da frente. Escuta as dobradiças rangerem e se lembra, irritado, que elas precisam de um trato. Resmungando você vai para o ponto do ônibus. Enquanto espera a condução, você sente as mãos geladas, mesmo enfiadas nos bolsos. Aí, você tira as mãos dos bolsos e começa a esfregar uma na outra, na tentativa de esquentá-las. Logo um calorzinho gostoso começa a surgir e a se espalhar pelas palmas e dedos. Esse calor é resultado do atrito entre a superfície da pele de suas mãos. Mas, o ônibus está demorando e você começa a ficar impaciente. Você tira um cigarro do maço, risca um fósforo e dá uma longa tragada e... o ônibus chega!

Você que está lendo esta aula, deve estar se perguntando o que o motor do carro do vizinho, as dobradiças rangendo, o calor gerado quando você esfrega uma mão na outra e a chama do fósforo têm a ver com a Mecânica. Bem, usamos esta historinha para mostrar que o atrito gera, no mínimo, um ruído irritante e calor. E isso é péssimo para qualquer conjunto mecânico.

Esta aula vai ensinar a você o que é o atrito, os problemas causados por ele e o que você pode fazer para diminuí-los. Por isso, você vai estudar os lubrificantes usados na lubrificação de máquinas e equipamentos, os fluidos de corte empregados na usinagem, o que são e para que servem. Fique ligado. O assunto é muito importante.

O atrito em ação

Na apresentação desta aula, foram mostradas quatro situações: o motor fundido, as dobradiças rangendo e o calor gerado quando a gente esfrega uma mão na outra ou riscamos um fósforo.

Tudo isso acontece por causa do atrito. E o que é o atrito? Os livros de Física dizem que o atrito é o resultado da interação entre as superfícies de corpos que estão em contato entre si e em movimento relativo. Complicado, não é? Vamos traduzir. Isto quer dizer que, o atrito é o resultado do contato entre duas superfícies movendo-se uma em relação a outra. Na verdade, é a resistência a esse movimento que causa o atrito. E isso acontece mesmo que você tenha duas superfícies extremamente lisas e polidas, que você reconhece pela visão e pelo tato. O que sua mão não consegue sentir e os seus olhos não conseguem ver, são saliências e reentrâncias muito pequenas. São elas que dificultam o deslizamento da superfície, causando o atrito.

Como é impossível obter superfícies nas quais essas irregularidades não existam, fica fácil concluir que jamais se conseguirá eliminar o atrito. Ele pode ficar menor, mas estará sempre lá.

Fique por dentro

Você não deve pensar que o atrito acontece somente entre sólidos. O contato, em movimento, entre um sólido e um líquido ou um elemento gasoso também causa atrito. A prova disso é que os corpos das naves espaciais do tipo Colúmbia têm que ser fabricados com materiais que resistam às altas temperaturas geradas pelo atrito com a atmosfera, quando elas retornam à Terra.

Para a gente que está estudando Mecânica, o que interessa é o atrito entre as superfícies sólidas que ocorre a todo o momento nas máquinas-ferramenta e nos conjuntos mecânicos em movimento. Nessas circunstâncias, o atrito traz como conseqüências: o aumento de temperatura, o desgaste da superfície, a liberação de partículas, a predisposição à corrosão e a micro-soldagem a frio.

E o que você, como mecânico, ou mesmo alguém que faz uso de um conjunto mecânico (como um automóvel, por exemplo) tem que fazer para tornar esses efeitos menos prejudiciais? Você tem que usar lubrificantes. E é sobre isso que falaremos na segunda parte desta aula.

Acredite se quiser

Nem sempre o atrito é prejudicial. Na verdade, ele auxilia na usinagem, isto é, no processo de fabricação e acabamento que usa uma ferramenta para desbastar um material. A força do atrito permite que o material seja desbastado e a peça fabricada.

Para parar e estudar

Neste curso, você aprende as coisas um pouquinho de cada vez. Portanto, chegou a hora de dar a primeira parada. Estude a aula até aqui e faça os exercícios a seguir

Exercícios

1. Escreva **V** nas afirmações corretas e reescreva corretamente as que estão incorretas.

a) ( ) Atrito é o resultado do contato de duas superfícies em movimento uma em relação à outra.

b) ( ) As saliências e reentrâncias nas superfícies dos materiais, quando em contato, facilitam o deslizamento, reduzindo o atrito.

c) ( ) O sólido em movimento em contato com um elemento líquido ou gasoso não sofre os efeitos do atrito.

d) ( ) Nas máquinas-ferramenta e nos conjuntos mecânicos em movimento ocorre o atrito entre as superfícies sólidas.

2. Escreva **V** ou **F** conforme sejam verdadeiras ou falsas as alternativas que completam a seguinte afirmação: "Para conjuntos mecânicos ou máquinas-ferramenta em movimento, o atrito causa":

a) ( ) aumento de temperatura;

b) ( ) mínimo desgaste entre os elementos;

c) ( ) liberação de partículas;

d) ( ) predisposição à corrosão;

e) ( ) diminuição da temperatura;

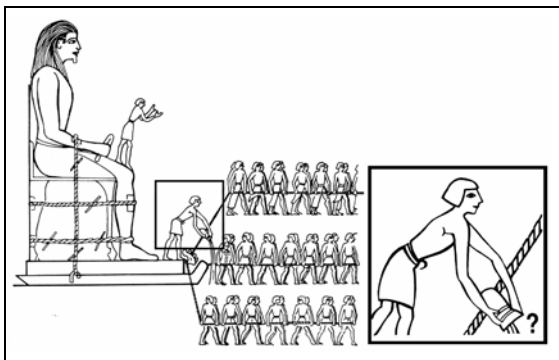
f) ( ) micro-soldagem a frio;

g) ( ) diminuição de ruído entre os elementos.

Os lubrificantes e suas características

Como já dissemos, é impossível eliminar o atrito. O que se pode fazer é reduzi-lo ao máximo. E isso é feito com o auxílio dos lubrificantes. E quando falamos em lubrificantes, estamos nos referindo a qualquer substância colocada uniformemente entre duas superfícies, de forma a diminuir a resistência ao movimento.

Partindo dessa definição, podemos dizer que qualquer fluido, como a água por exemplo, é, de certa forma, um lubrificante.

Só que não é bem assim. Nesse painel que reproduz escravos trabalhando na construção de um templo ou túmulo no antigo Egito, aquele que joga a água no chão está formando lama que, nesse caso, é o verdadeiro lubrificante. Todo mundo sabe, também, que não se pode colocar água ao invés de óleo para lubrificar o motor de um carro. Se você colocar água na dobradiça que está rangendo, você terá mais barulho como resultado.

Mas, por quê? Bem, para ser um lubrificante, a substância tem que ter algumas qualidades, que a água certamente não tem. Essa substância tem que:

- ser capaz de manter separadas as duas superfícies durante o movimento;
- ser estável diante de mudanças de temperatura;
- não atacar as superfícies metálicas;
- manter limpas as superfícies lubrificadas.

Mas, que tipos de substâncias apresentam essas qualidades? É fácil: os óleos, que são lubrificantes líquidos, as graxas, que são os lubrificantes pastosos, e os lubrificantes sólidos, como a cera de abelha, a grafita e a parafina.

E as qualidades que esses lubrificantes apresentam estão estreitamente ligadas às características físicas dessas substâncias, ou seja, viscosidade, ponto de fulgor, ponto de combustão, ponto de fluidez, ponto de gota de graxa e consistência da graxa. Veja por quê.

De todas as características físicas dos lubrificantes, a viscosidade é a que apresenta o maior interesse, pois representa o grau de atrito produzido quando o óleo escorre. Em outras palavras,

viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento. Por isso, as substâncias espessas como a graxa têm viscosidade elevada porque não escorrem.

A viscosidade não é constante, pois varia de acordo com a temperatura. Óleos lubrificantes, quando aquecidos, tornam-se mais finos, isto é, têm sua viscosidade diminuída. Para expressar numericamente essa variação, utiliza-se o índice de viscosidade (IV), que divide os óleos lubrificantes em três grupos:

- HVI - alto índice de viscosidade;
- MVI - médio índice de viscosidade;
- LVI - baixo índice de viscosidade.

Um óleo lubrificante com alto índice de viscosidade apresenta uma variação relativamente pequena de viscosidade em função da temperatura. Já um lubrificante com baixo índice apresenta grande variação de viscosidade em relação a uma pequena variação de temperatura.

Dica tecnológica
A viscosidade dos óleos pode ser classificada de outra forma: é a classificação SAE, que se refere à viscosidade de óleos para motores de combustão interna e engrenagens automotivas.

A **consistência de graxa** é a característica da graxa que corresponde à viscosidade do óleo lubrificante. Ela traduz a resistência de uma graxa à deformação plástica.

O **ponto de fulgor** é a temperatura na qual o vapor desprendido pelo óleo aquecido se inflama momentaneamente em contato com uma chama. Esse dado é muito importante, pois permite avaliar as temperaturas de serviço que um óleo lubrificante pode suportar com absoluta segurança. Óleos com ponto de fulgor inferior a 150ºC não devem ser empregados para fins de lubrificação.

O **ponto de combustão** é a temperatura na qual o vapor do óleo, uma vez inflamado, continua a queimar por mais cinco segundos, no mínimo. Essa temperatura é 22ºC a 28ºC mais alta que a do ponto de fulgor.

O **ponto de fluidez** é a temperatura mínima na qual o óleo ainda flui. É uma característica muito importante para se determinar o lubrificante adequado para ser usado em locais muito frios. Praticamente todos os óleos lubrificantes possuem pontos de fluidez abaixo de 0ºC. No clima do Brasil, o ponto de fluidez só é importante no emprego de lubrificantes para máquinas frigoríficas.

O **ponto de gota de graxa** é a temperatura na qual uma graxa passa do estado sólido ou semi-sólido para o estado líquido. Esse dado permite comparar graxas entre si, relacionando o ponto de gota à temperatura de trabalho.

Para parar e estudar

Esta parte da aula apresentou informações importantes. Leia-a novamente e faça os exercícios a seguir.

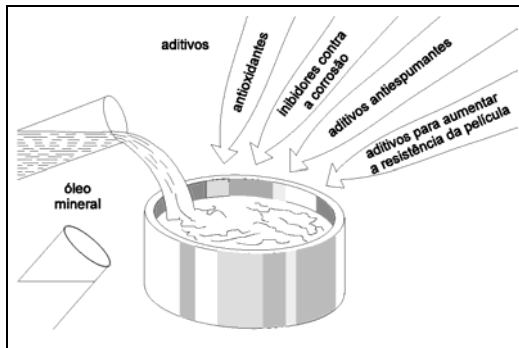
Exercício

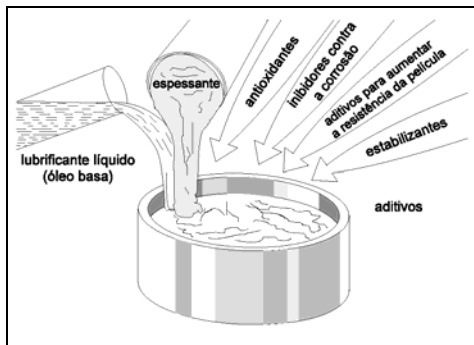
3. Faça corresponder os dados da coluna A com as características da coluna B.

Coluna A	**Coluna B**
a) ( ) Viscosidade	**1.** Temperatura em que a graxa passa do estado sólido ou semi-sólido para o estado líquido.
b) ( ) Consistência de graxa	**2.** Temperatura na qual o vapor desprendido do óleo aquecido se inflama em contato com uma chama.
c) ( ) Ponto de fulgor	**3.** Temperatura mínima na qual o óleo ainda escoa.
d) ( ) Ponto de combustão	**4.** Característica da graxa que corresponde à viscosidade do óleo lubrificante.
e) ( ) Ponto de fluidez	**5.** Temperatura na qual o vapor do óleo, uma vez inflamado, continua a queimar por mais cinco segundos no mínimo.
f) ( ) Ponto de gota de graxa	**6.** Resistência de um fluido ao escoamento.

Óleo e graxa. Qual a diferença?

Já vimos que o atrito pode ser um grande inimigo dos conjuntos mecânicos. Já vimos, também, que ele não pode ser evitado e que o melhor modo de diminuí-lo é usando lubrificantes. É por esse motivo que, a intervalos regulares, temos que trocar o óleo do motor do carro. Mas, se você abrir o capô ou olhar o carro por baixo, vai ver inúmeros pontos onde há necessidade de lubrificação, não de óleo, mas de graxa. Qual a diferença? Quando e por que usar um e não outro?

Bem, a primeira diferença é a mais óbvia, pois você pode ver: o óleo é um lubrificante líquido e a graxa é um lubrificante pastoso.

Depois vêm as diferenças de composição. Os óleos podem ser minerais, isto é, derivados de petróleo, ou não minerais, como os óleos graxos, compostos ou sintéticos.

As graxas são formadas misturando-se um óleo mineral ou sintético com um espessante, isto é, um agente engrossador, que pode ser um sabão metálico, argilas modificadas ou sílica-gel.

Dica tecnológica

Os sabões metálicos não são muito diferentes dos tradicionais sabões de lavar roupa. Eles são obtidos pela reação química entre um ácido graxo (geralmente sebo) e um sabão alcalino. Assim, a cal virgem produz um sabão de cálcio, a soda cáustica dá sabão de sódio, o hidróxido de lítio dá sabão de lítio.

A terceira diferença é conseqüência das duas primeiras: a aplicação. Embora as funções de cada um sejam idênticas, as graxas são usadas em sistemas mecânicos onde os elementos de vedação não permitem uma lubrificação satisfatória. Ou, então, quando as temperaturas não são excessivas. De qualquer modo, a escolha depende das particularidades de cada elemento do conjunto mecânico. Além disso, cada máquina deve ser lubrificada de acordo com as especificações contidas no manual do fabricante da máquina, que indica qual o tipo de lubrificante mais adequado, os intervalos entre as lubrificações e o modo correto de lubrificar o equipamento. Se você não é profissional da área, pode constatar isso lendo o manual do proprietário de qualquer automóvel.

Só para enriquecer um pouco mais as informações que demos para você, apresentamos a seguir algumas vantagens de cada um desses lubrificantes.

Vantagens da graxa	Vantagens do óleo
Consistência: forma uma camada protetora sobre a peça lubrificada	Maior dissipação de calor
Adesividade em peças deslizantes ou oscilantes	Maior resistência à oxidação
Operação de rolamentos em várias posições	Menor atrito fluido em altas rotações
Lubrificação instantânea na partida	

Uma das razões mais comuns para a utilização da lubrificação a óleo, é a alta temperatura de trabalho, que pode ser causada pela elevada temperatura ambiente, pela alta velocidade de trabalho ou pela carga elevada. Para um bom desempenho, ele deve estar livre de impurezas, ter boa resistência à oxidação e à deterioração por evaporação.

O manuseio e o armazenamento das graxas, óleos lubrificantes e fluidos de corte necessitam de alguns cuidados especiais. Porém, não falaremos deles nesta aula. Esse assunto será abordado quando falarmos de lubrificação no módulo sobre Manutenção.

Para parar e estudar

A terceira parte da aula trouxe informações importantes. Para um profissional da área de Mecânica, o conhecimento delas é essencial. Estude tudo com atenção. O exercício a seguir vai ajudá-lo nessa tarefa.

Exercício

4. a) Escreva ao menos três vantagens do uso da graxa e do óleo lubrificante em conjuntos mecânicos.

b) Dê uma razão para a utilização de óleo e uma para a utilização de graxa para a lubrificação de conjuntos mecânicos.

Melhorando as propriedades dos lubrificantes

É só ser um pouco observador para perceber o enorme desenvolvimento da indústria mecânica neste final de século. E grande parte desse avanço deve-se à tecnologia dos materiais. Materiais especiais passam a exigir máquinas e ferramentas especiais. Exigem também lubrificantes especiais. A cada nova necessidade, uma característica especial tem que ser ressaltada.

E isso é conseguido com o uso de aditivos. Eles dão aos lubrificantes novas propriedades, melhoram as existentes, eliminam ou diminuem as indesejáveis.

Em qualquer conjunto mecânico, a função principal do lubrificante é formar uma película que separe as superfícies em contato a fim de reduzir o atrito, controlar a temperatura e eliminar o desgaste.

A função dos aditivos é justamente garantir que essa função seja mantida, não importa as condições de trabalho.

Vamos conferir isso na tabela que preparamos e que traz os aditivos para óleos e graxas. Ela indica, também, qual a finalidade de sua adição em cada tipo de lubrificante.

Problema	**Aditivo**	**Função**	**Tipo de aditivo**	**Tipo de lubrificante**
Arranhaduras, soldagem e deformação a frio em conjuntos mecânicos (engrenagens e mancais) que trabalham com pressão sobre o lubrificante	EP (Extrema pressão)	Impedir o rompimento da película lubrificante	Compostos de cloro, enxofre e fósforo	Óleo e graxas
Diminuição das folgas, aumento de temperatura, diminuição de rendimento e falhas no equipamento	Antioxidante	Controlar a velocidade de oxidação do lubrificante e aumentar sua vida útil	Compostos de enxofre e fósforo	Óleo e graxas
Corrosão	Agente anticorrosivo	Proteger os metais contra substâncias corrosivas e ataques do meio ambiente	Aditivo alcalino. Cromo, dicromato, sulfonato de petróleo	Óleos Graxas não solúveis em água
Vazamentos e folgas; componentes sujeitos a centrifugação; gotejamento em equipamentos de indústria têxtil e alimentícias	Agentes de adesividade	Conferir alto poder de aderência do lubrificante aos metais	Hidrocarbonetos saturados. Polímeros orgânicos viscosos	Óleos e graxas
Borra	Detergente e dispersante	Minimizar a formação de borra, mantendo as impurezas em suspensão	Compostos organo-metálicos	Óleos
Desgaste	Agente antidesgaste. Agente de untuosidade	Melhorar o poder de lubrificação	Fósforo Gorduras e óleos vegetais	Óleos Graxas
Espuma	Antiespumante	Desmanchar as bolhas de ar assim que atingirem a superfície livre do óleo	Silicone	Óleos
Perda de viscosidade com a variação da temperatura	Melhorador de IV (índice de viscosidade)	Impedir o aumento ou diminuição excessiva da viscosidade	Polímeros	Óleos
Separação do sabão do óleo (nas graxas)	Modificador de estrutura	Alterar a estrutura da fibra do sabão e evitar a tendência de separação	–	Graxas
Grimpagem, calor, temperatura elevada	Lubrificantes sólidos	Manter o poder de lubrificação após a combustão do sabão e do óleo da graxa	Grafita	Graxas
Identificação comercial	Corantes, odoríferos	Dar cor e cheiro para facilitar a identificação	-	Óleos e graxas
Fungos e bactérias	Antissépticos	Inibir o crescimento de fungos e bactérias	-	Fluidos de corte

Para parar e estudar

Estudar os aditivos é uma boa, agora. Releia a terceira parte da aula e faça o exercício a seguir:

Exercício

5. Escreva **V** para as afirmações certas e reescreva corretamente as erradas.

a) ( ) Para impedir os excessos de diminuição ou aumento da viscosidade, adiciona-se ao lubrificante um aditivo modificador de estrutura.

b) ( ) Para proteger os metais contra substâncias corrosivas e ataques ao meio ambiente, adiciona-se polímeros aos óleos lubrificantes.

c) ( ) Para inibir o crescimento de fungos e bactérias, as graxas devem receber aditivos antissépticos.

d) ( ) Para impedir o rompimento da película lubrificante utiliza-se óleo ou graxa com aditivos compostos de cloro, enxofre e fósforo.

e) ( ) Para conferir alto poder de aderência aos lubrificantes, utilizam-se polímeros orgânicos viscosos como agentes de adesividade.

f) ( ) Para controlar a velocidade de oxidação dos lubrificantes, usam-se aditivos compostos de enxofre e fósforo.

Fluido de corte: o que é isso?

Para entender o que é um fluido de corte, precisamos voltar um pouquinho para o começo da aula. Lá, a gente dizia que atrito é o resultado do contato entre duas superfícies que se movem uma em relação a outra. Dissemos também, que o atrito gera calor, que é impossível evitá-lo e que ele ajuda nas operações de usinagem, certo?

Para entender onde o fluido de corte entra nisso, vamos reproduzir um trecho do primeiro capítulo de um manual sobre fluidos de corte editado pela Esso Brasileira de Petróleo S.A.:

Usinagem de metais é todo o processo pelo qual a forma de uma peça é modificada, pela remoção progressiva de cavacos ou aparas de metal.

O atrito produzido entre o cavaco e a ferramenta afeta o acabamento, a quantidade de calor gerada e a energia consumida durante o processo de usinagem. Foi constatado que cerca de 2/3 da potência dispendida (para realizar o trabalho), se convertem em calor de deformação e corte, e o restante (1/3) se consome em vencer o atrito superficial da apara na ferramenta.

Observe que esse pequeno trecho tem duas palavras mágicas: atrito e calor. A evolução da tecnologia dos materiais (sempre ela!) fez surgir ligas de aço cada vez mais duras. Isso gerou a necessidade de velocidades de corte cada vez maiores, que, por sua vez, geram cada vez mais calor. Entretanto, isso só é possível se as superfícies em contato durante a usinagem forem mantidas em temperaturas baixas. É aí que entra o fluido de corte, que é qualquer fluido que diminua o calor gerado durante as operações de usinagem.

Fique por dentro

Em 1880, o norte-americano F. W. Taylor descobriu que a velocidade de corte para tornear o aço podia ser aumentada em mais de 35% se fosse usada a água, aplicada em forma de jato diretamente sobre a ferramenta, como meio de resfriamento.

Disso surgem as principais funções do fluido de corte:

1. Resfriar a ponta da ferramenta, o cavaco e a peça.
2. Lubrificar as superfícies em contato.
3. Controlar o caldeamento.

Outras funções secundárias também são obtidas:

a) Remover os cavacos ou aparas.

b) Possibilitar um bom acabamento na superfície usinada.

c) Evitar a corrosão da peça, da ferramenta e da máquina.

d) Lubrificar as guias da máquina-ferramenta.

Mas, o que usar e quando usar? Para a escolha do fluido de corte, é preciso considerar o material que será usinado, o tipo de operação de corte e a ferramenta a ser usada.

Dependendo da função que o fluido exerce na operação, temos dois grupos:

1. Fluido de corte refrigerante, formado pelas soluções químicas e os óleos solúveis, cuja principal função é resfriar. É empregado em retificação ou outras operações onde a necessidade de refrigeração é maior do que a de lubrificação.

2. Fluido de corte lubrificante, formado pelos óleos minerais, animais e vegetais, usado quando a lubrificação é mais importante que o resfriamento. Isso ocorre, por exemplo, na fresagem, no rosqueamento e no brochamento.

Na verdade, não existe um fluido universal, isto é, aquele que atenda a todas as necessidades de todos os casos. Os óleos solúveis comuns e os EPs são os que cobrem o maior número de operações de corte.

A tabela a seguir foi tirada da página 36 do manual técnico Usinagem e **Fluidos de Corte**, publicado pela Esso Brasileira de Petróleo S.A.. Ela ajudará você a estudar as propriedades de cada tipo de fluido.

Tipos	Compo- sição	Propriedades					Aplicação
		Resfri-amento	**Lubrifi-cação**	**Proteção contra a corrosão**	**EP**	**Resis-tência à oxidação**	
Óleos minerais	Derivados de petróleo	-	Ótima	Excelente	-	Boa	Usinagem leve de pouca precisão para aços de baixo teor de carbono, latão e bronze
Óleos graxos	Óleos de origem vegetal ou animal	-	Excelente	Boa	Boa	-	Acabamento fino
Óleos compos-tos	Mistura de óleos minerais e graxos	-	Excelente	Excelente	Boa	Boa	Fresagem, furação, usinagem de cobre e suas ligas
Óleos "solúveis"	Óleos minerais + óleos graxos, soda cáustica, emulsifican-tes, água	Ótimo	Boa	Ótimo	-	Boa	Maioria das operações de corte
Óleos EP	Óleos minerais com aditivos EP (enxofre, cloro ou fósforo)	Ótimo	Boa	Ótima	Exce-lente	Boa	
Óleos sulfurados e clorados	Óleos minerais ou graxos sulfurados ou com substâncias cloradas	-	Excelente	Excelente	Exce-lente	Ótima	Usinagem de metais mais duros

É possível também associar o tipo de fluido de corte ao material que deve ser usinado e à operação a ser realizada. Esse tipo de associação será feito quando você estudar os processos de fabricação mecânica e, dentro deles, a usinagem.

Para parar e estudar

A aula sobre lubrificantes termina aqui. Esse assunto será retomado nos módulos sobre Manutenção e sobre Processos de Fabricação Mecânica. Por enquanto, estude a última parte desta aula, faça os exercícios e, por fim, faça uma revisão geral com o teste do item Avalie o que você aprendeu.

Exercícios

6. Complete as afirmativas com a alternativa correta:

- **a)** A quantidade de calor, o acabamento e a energia consumida durante o processo de usinagem são afetadas principalmente por:
  - **1)** rotação da peça;
  - **2)** velocidade de corte;
  - **3)** atrito produzido.
- **b)** Durante as operações de usinagem, consegue-se diminuir o calor gerado pelo atrito da ferramenta com o material, usando-se:
  - **1)** Fluido de corte;
  - **2)** Ar refrigerado;
  - **3)** Fluido universal.
- **c)** Para a escolha do fluido de corte a ser usado durante a usinagem, é preciso considerar, além do tipo de operação, também e principalmente:
  - **1)** o equipamento a ser utilizado;
  - **2)** a previsão do tempo de usinagem;
  - **3)** o material e a ferramenta a ser usada.

7. Faça a correspondência entre o fluido de corte e as funções que eles exercem na operação de usinagem.

Fluido de corte

a) ( ) Fluido de corte refrigerante
b) ( ) Óleos minerais
c) ( ) Óleos solúveis comuns e Eps
d) ( ) Fluido de corte lubrificante
e) ( ) Óleos sulfurados e clorado

Composição ou função

1. Formado por óleos minerais, animais e vegetais é empregado na fresagem, no rosqueamento e no brochamento quando a lubrificação é mais importante que o resfriamento
2. Composto por óleos minerais com aditivos contendo enxofre, fósforo ou cloro. Abrange o maior número de aplicações.
3. Óleos solúveis cuja principal função é a refrigeração.
4. Óleos minerais + óleos graxos, soda cáustica, emulsificantes, água. Usado em fresagem, furação, usinagem de cobre e suas ligas.
5. Óleos minerais ou graxos, sulfurados ou com substâncias cloradas.

Avalie o que você aprendeu

8. Associe os tipos de lubrificantes da coluna **A** com as múltiplas aplicações listadas na coluna **B**:

Coluna A

a) ( ) Óleo lubrificante
b) ( ) Graxa
c) ( ) Fluido de corte

Coluna B

1. Usado em sistemas mecânicos em que os elementos de vedação não permitem uma lubrificação satisfatória.
2. Usado em peças deslizantes ou oscilantes.
3. Usado para resfriamento da ferramenta, das aparas e da peça.
4. Usado para garantir menor atrito fluido em altas rotações.
5. Usado em elementos mecânicos nos quais a temperatura de trabalho é excessiva.
6. Usado para prevenir a corrosão da peça, da ferramenta e da máquina.

Gabarito

1. **a)** V
b) F (As saliências e reentrâncias, nas superfícies dos materiais, quando em contato, dificultam o deslizamento da superfície, causando o atrito.)
c) F (O contato em movimento, entre um sólido, um líquido ou um elemento gasoso, também causam atrito.)
d) V

2. **a)** V **b)** F **c)** V **d)** V
e) F **f)** V **g)** F

3. **a)** - 6 **b)** - 4 **c)** - 2
d) - 5 **e)** - 3 **f)** - 1

4. **a**) Vantagens da **graxa**:
- consistência
- adesividade
- lubrificação instantânea na partida

Vantagens do **óleo lubrificante**:
- maior dissipação
- maior resistência à oxidação
- menor atrito fluido em altas rotações

b) Óleo: alta temperatura de trabalho
Graxa: difícil acesso às partes a serem lubrificadas

5. **a)** V
b) F (Para proteger os metais contra substâncias corrosivas e ataques do meio-ambiente, adiciona-se aditivo alcalino, cromato, dicromato e sulfonato de petróleo aos óleos lubrificantes.)
c) V **d)** V **e)** V **f)** V

6. **a)** 3 **b)** 1 **c)** 3

7. **a)** 3 **b)** 2 **c)** 4
d) 1 **e)** 5

8. **a)** 4, 5 **b)** 1, 2 **c)** 3, 6

Ande por sua casa e observe cuidadosamente as coisas que você tem a sua volta: os móveis, as cortinas, os tapetes, os eletrodomésticos, os utensílios de cozinha, as roupas dentro da gaveta, os brinquedos das crianças. Agora olhe pela janela. Observe os veículos que circulam pela rua, as vitrines das lojas, as roupas e calçados das pessoas. Entre no supermercado, analise as embalagens. Todas essas coisas têm algo em comum. Você sabe o que é?

Se você não sabe, não vamos fazer suspense: é um material que praticamente se confunde com o século XX. Embora inventado por volta de 1870, ele só foi industrializado com sucesso em 1909. Estamos falando de uma enorme família: a família do plástico. Inventado a partir de uma necessidade de mercado, o plástico surgiu de uma tentativa de substituir um material natural. Depois de uma lenta evolução até a Segunda Guerra Mundial, tornou-se a matéria-prima essencial de inúmeros produtos antigos e novos. Assim, a cada necessidade, logo sai dos laboratórios de pesquisa um material sintético mais versátil, mais uniforme e mais econômico.

Vamos, então, nesta aula, estudar um pouquinho da história do plástico. Vamos ter também informações sobre sua estrutura química, características, fabricação e aplicações. E, finalmente, vamos comentar o impacto desse material no meio ambiente, e gostaríamos que você refletisse e discutisse com seus amigos sobre isso.

Um pouco de história

Durante milhares de anos, o homem aproveitou os materiais que ele via na natureza. Alguns desses materiais, como a madeira e a pedra, ele trabalhava do jeito que estavam. Outros, como os metais, ele foi descobrindo pouco a pouco e, na maioria das vezes, por acaso. E então o homem percebeu que podia modificar, fundir, adicionar elementos, formar ligas e refinar. O plástico é o único material que foi realmente "inventado".

Os autores pesquisados apresentam datas diferentes para sua invenção: 1863, 1864, 1868, 1870. Mas, em um aspecto todos concordam: o plástico surgiu da procura por um substituto do marfim na fabricação de bolas de bilhar. Quem conseguiu isso foi o norte-americano chamado John Wesley Hyatt. Depois de várias tentativas frustradas, ele descobriu sem querer, ao derramar uma garrafa de colódio (ou nitrocelulose), que este se aglutinava como uma cola. Acrescentando cânfora ao nitrato de celulose e submetendo essa mistura a uma determinada pressão e temperatura ele obteve um material moldável ao qual deu o nome de celulóide.

Acredite se quiser
Por não ser químico e não conhecer as propriedades explosivas da nitrocelulose, John Hyatt fez experiências que um químico não faria e os pesquisadores não sabem até hoje como ele sobreviveu a elas.

As primeiras bolas de bilhar fabricadas por Hyatt consistiam de um núcleo de pó de marfim ligado com laca e recoberto com uma camada de colódio (nitrocelulose). As bolas assim fabricadas explodiam quando batiam umas nas outras.

O celulóide tinha vários defeitos e contribuiu para a má fama inicial dos materiais sintéticos: era instável, decompunha-se facilmente quando exposto à luz e ao calor e era altamente inflamável.

O primeiro plástico fabricado pelo homem através de síntese foi a resina **fenol-formaldeído**, desenvolvida pelo físico e químico

belga Leo Hendrik Baekeland. Estudando seriamente sobre a polimerização e a condensação, ele conseguiu viabilizar um método de reações controladas de polimerização, de modo a produzir resinas plásticas em quantidades comercialmente viáveis. Em vez de retardar a reação de polimerização, Baekeland apressou-a. Em uma **autoclave** e a uma temperatura de 200ºC, ele obteve uma massa esférica, cor de âmbar, cuja superfície era uma impressão exata do fundo do recipiente, incluindo as cabeças dos parafusos. Estava “inventada” a **baquelite**, o primeiro plástico sintético.

Autoclave é um aparelho usado para esterilizar instrumentos por meio de vapor a alta pressão e temperatura.

O sucesso desse material e suas inúmeras aplicações levou a pesquisas sistemáticas sobre os plásticos e, conseqüentemente, a novas descobertas, que levam a novas utilizações. O emprego de computadores na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, aliado ao avanço na tecnologia dos materiais criam plásticos com propriedades físicas cada vez melhores. Assim, a cada dia, as indústrias automobilística, de construção civil, de aparelhos eletroeletrônicos, de computadores pessoais, e de material esportivo apresentam novas utilizações para novos materiais plásticos.

Mas, exatamente, o que é o plástico? Nesta primeira parte da aula, você leu palavras talvez estranhas como fenol, formaldeído, polimerização. Elas fazem parte da resposta, porém não são toda

a resposta. Passe para a próxima parte da aula na qual tentaremos resolver este enigma.

Antes de parar e estudar

Antes de continuar, releia a primeira parte da aula e faça o exercício a seguir.

Exercício

1. Escreva **F** na frente das sentenças falsas e **V** na frente das sentenças verdadeiras. Depois, corrija as falsas e reescreva-as.

a) ( ) O plástico foi inventado por volta de 1870, mas só começou a ser industrializado com sucesso em 1909.

b) ( ) O plástico surgiu de uma necessidade de mercado.

c) ( ) A qualidade do baquelite e suas inúmeras aplicações levaram a novas pesquisas que criaram plásticos com propriedades cada vez melhores.

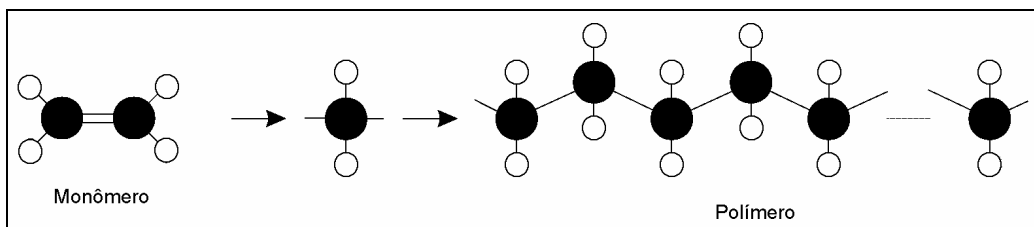
d) ( ) A indústria automobilística, eletroeletrônica, de construção civil e de material esportivo foram beneficiadas pelas novas aplicações dos materiais plásticos.

O que é o plástico?

Se você for ao dicionário, encontrará uma explicação mais ou menos parecida com esta: *plástico é todo o material que tem a propriedade de adquirir e conservar uma forma determinada pela ação de uma força exterior*. Por essa definição, uma grande variedade de materiais pode ser entendida como "plástico". Assim, por exemplo, tanto uma porção de argila misturada à quantidade adequada de água, quanto o aço aquecido a uma temperatura em torno de 800ºC são materiais plásticos. Todavia, quando nos referimos ao plástico, estamos falando de um grupo de materiais sintéticos que, no processamento, é

aquecido e que, na temperatura em que está “plástico”, amolece sem se tornar líquido, podendo ser moldado. O nome mais adequado para esse material seria “plastômero”, ou seja, polímero plástico.

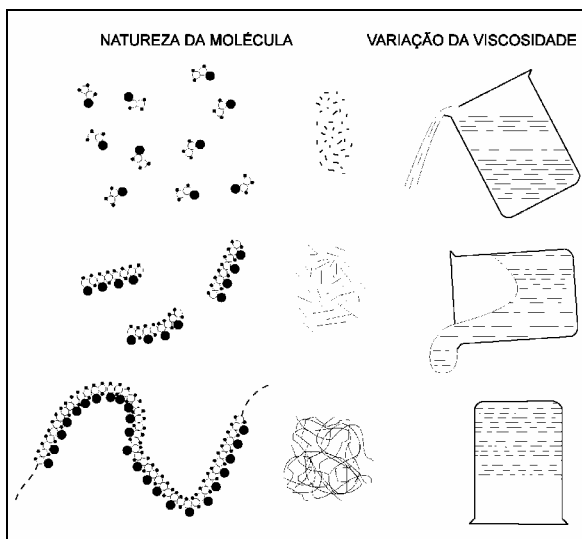
Quimicamente, os plásticos são polímeros formados por várias cadeias de **macromoléculas** de alto peso molecular. Os **polímeros** são fabricados a partir de compostos químicos simples, chamados **monômeros**. Observe na ilustração a seguir a diferença entre um monômero e um polímero.

Macromoléculas são moléculas com um grande número de átomos e grande peso molecular. Para se ter uma idéia do que isso significa, basta lembrar que o peso molecular da água é 18 u.m.a. (unidade de massa atômica) e o peso molecular típico para um polímero é 30.000 u.m.a.

Veja que o grande peso molecular é obtido com a repetição em longas cadeias de um mesmo monômero. Observe, também, que os principais elementos químicos que entram na composição do monômero e do polímero, são o carbono e o hidrogênio. Outros elementos como o oxigênio, o nitrogênio ou o cloro também podem fazer parte dessa molécula em alguns tipos de plásticos.

Como exemplos de monômeros, podemos citar o fenol, o cloreto de vinila, o propeno, o etileno etc. Por meio de aquecimento de compostos como esses, com ou sem a presença de um catalisador, ocorre a polimerização e obtém-se o plástico.

Catalisar é aumentar a velocidade de uma reação química pela presença e atuação de uma substância que não se altera no processo. Portanto, o catalisador é a substância que aumenta a velocidade da reação química.

Mas, o que será que acontece dentro do material durante o processamento? Bem, se pudéssemos olhar lá dentro, enquanto o material é aquecido, veríamos cadeias de moléculas formando "fios". Esses fios têm a facilidade de deslizar uns sobre os outros e quando o material esfria, os fios se juntam e se entrelaçam sem se romper significativamente. É como se estivéssemos vendo um prato de espaguete, no qual cada fio representa uma cadeia molecular.

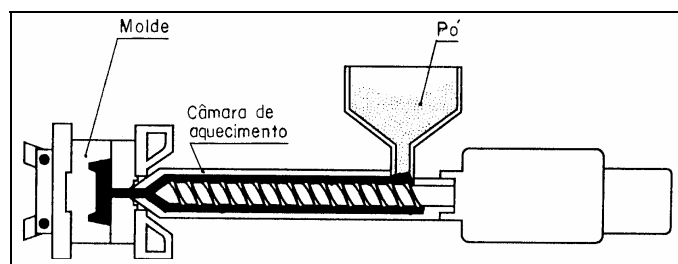
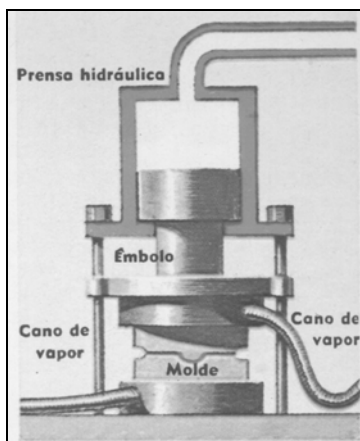
A ilustração a seguir demonstra como isso acontece com um composto de vinila: na **fase 1**, o líquido flui com a facilidade idêntica à da água (as moléculas estão relativamente pequenas); na **fase 2**, as moléculas atingem um tamanho que permite o aumento da viscosidade; na **fase 3**, a polimerização se completa e as moléculas tornam-se bastante longas aglutinando-se sem se romper. Nessa fase, o polímero está tão viscoso que pode ser considerado um sólido. Isso é a **polimerização**.

Quando, na formação das macromoléculas, participam mais do que um tipo de monômero, obtém-se plásticos chamados copolímeros. Dependendo da disposição dos diferentes monômeros nas moléculas dos copolímeros, estes apresentam diferentes características físico-químicas.

Os tipos ou famílias dos materiais plásticos são obtidos pelo uso de um monômero diferente ou de diferentes combinações de monômeros. As propriedades de cada tipo são determinadas pelo

processo de obtenção e pelo uso (ou não) de determinados tipos de aditivos e cargas.

As matérias-primas básicas para a obtenção da maioria dos materiais plásticos são de origem natural ou sintética. O quadro a seguir mostra alguns produtos derivados de cada tipo de matéria-prima.

Matéria-prima	Origem	Produto
Celulose	Natural	Acetato de celulose Nitrato de celulose
Caseína	Natural	Galalite
Óleo de rícino	Natural	Náilon
Amônia e Uréia	Natural	Uréia-formaldeído
Acetileno	Sintético	Policloreto de Vinila (PVC) Poliacrilovinila
Propeno	Sintético	Polipropileno
Etileno	Sintético	Polietileno
Benzeno	Sintético	Náilon Poliste
Etileno + Benzeno	Sintético	Poliestireno

Os materiais plásticos são obtidos pela reação química realizada com a ajuda de calor, pressão e elemento catalisador. Os processos de obtenção dos produtos incluem moldagem por compressão, extrusão, injeção, conformação a vácuo, corte em estampos e usinagem. As ilustrações a seguir mostram a representação esquemática de dois tipos de moldagem: por compressão e por injeção.

Para a fabricação das peças, o material plástico é fornecido na forma de grãos grossos, lisos e sem rebarbas, medindo entre 2 e 3 mm, para facilitar o deslizamento nas máquinas injetoras. Pode também ser apresentado semi-transformado, isto é, transformado em forma de barras, placas ou chapas finas. As barras e as placas se destinam a obtenção de peças pelos processos convencionais de usinagem. As chapas finas e os laminados podem ser cortadas em estampos, ou conformadas a vácuo.

Será que agora você já tem uma idéia do que seja o plástico? Então, que tal estudar um pouquinho esta parte da aula?

Releia tudo prestando atenção nas palavras novas. Sublinhe os trechos que você achar importante e copie-os em seu caderno, formando um resumo. Depois, faça o exercício a seguir.

Exercícios

2. Complete:

a) Do ponto de vista químico, os plásticos são cadeias de macromoléculas de grande peso molecular chamadas ....

b) O nome mais adequado para o plástico seria ....

c) Os polímeros são fabricados a partir de compostos químicos simples chamados ....

d) Os principais elementos químicos que entram na composição dos monômeros e dos polímeros são .... e ....

e) Por meio do aquecimento de compostos como o fenol, o cloreto de vinila, ... e ...., com ou sem a presença de um catalisador, ocorre .... e obtém-se o plástico.

f) Quando, na formação das macromoléculas, participam mais de um tipo de monômero, obtém-se plásticos chamados de ....

g) Os processos de obtenção dos produtos de plástico incluem moldagem por compressão, ..., ..., conformação a vácuo, corte em estampos, ...

h) O material plástico para processamento é fornecido sob a forma de grãos ...., ... e sem .... medindo entre 2 e 3 mm, para facilitar o fluxo do material nas injetoras.

i) O material pode ser fornecido também já semi-transformado, ou seja, em forma de ...., ... ou ....

j) As chapas finas e os laminados podem ser cortadas em .... ou .... a vácuo.

3. Faça corresponder a matéria-prima à sua respectiva origem, escrevendo as palavras sintético ou natural na frente de cada alternativa a seguir.

a) Acetileno: ....

b) Óleo de rícino: ....

c) Amônia e uréia: ....

d) Benzeno: ....

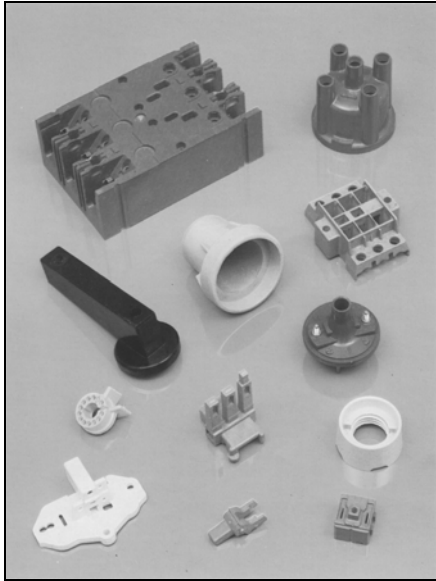
e) Celulose: ....

f) Propeno: ....

A grande família dos plásticos

Observando a imensa variedade de produtos plásticos que nos cercam, você pode ter uma idéia do tamanho dessa família, que se divide em dois grandes grupos. Esses grupos são determinados pela maneira como as resinas plásticas reagem em relação ao calor. Assim, os plásticos podem ser **termofixos** ou **termoplásticos**.

Os materiais plásticos termofixos são aqueles que se tornam plásticos, ou seja amolecem, por meio de calor, sofrem transformação química em sua estrutura e, ao endurecerem, adquirem a forma do molde na qual foram moldados, não podendo mais ser amolecidos. Se forem reaquecidos nas temperaturas de proces-

samento, eles não readquirirão a plasticidade. É como cozinhar um ovo: uma vez cozido, ele ficará duro permanentemente. Isso significa que os produtos fabricados com materiais plásticos termofixos, só podem ser moldados uma única vez. São exemplos de plásticos termofixos o fenol formaldeído (baquelite), o epoxi e o silicone.

Os materiais termoplásticos tornam-se plásticos pela ação do calor e se solidificam com o resfriamento, retendo a forma na qual foram moldados. Se forem aquecidos novamente, voltam a se tornar plásticos e podem ser moldados em novas formas. São exemplos de termoplásticos o polietileno, o poliestireno, o policloreto de vinila (PVC) e o náilon.

Para parar e estudar

Neste ponto é importante parar, para que você releia a segunda parte da aula e aprenda a diferença entre os dois tipos de plásticos. Faça uma leitura cuidadosa e resolva os exercícios a seguir.

Exercício

4. Escreva **TMF** para materiais termofixos e **TMP** para termoplásticos, conforme a reação das resinas plásticas em relação ao calor:

a) ( ) Podem ser moldados em novas formas se forem reaquecidos.

b) ( ) Tornam-se plásticos por meio do calor, sofrem transformação química e adquirem a forma na qual foram moldados, não podendo mais ser amolecidos.

c) ( ) Só podem ser moldados uma única vez.

d) ( ) Se reaquecidos, serão destruídos e não readquirirão a plasticidade.

e) ( ) Baquelite, epoxi e silicone.

f) ( ) PVC, náilon, polietileno.

Melhorando as propriedades dos materiais plásticos

O material plástico, como qualquer outro, tem propriedades exclusivas que permitem substituir materiais tradicionais com eficiência e economia. Ele apresenta, entre outras características, baixo peso, alta resistência à corrosão, baixa condutividade térmica e elétrica, facilidade de conformação, boa resistência às soluções salinas e ácidas, boa aparência, baixo coeficiente de atrito.

Como a qualquer outro material, também é possível acrescentar ao plástico **aditivos** capazes de melhorar suas características físico-químicas e sua aparência, facilitar o processamento ou conferir-lhe qualidades especiais.

Aditivos são substâncias acrescentadas a um plástico para conferir, eliminar, diminuir ou aumentar determinada propriedade, ou conjunto de propriedades. Nesse grupo encontram-se os lubrificantes, os estabilizantes, os plastificantes, os retardadores de chama, os agentes antiestáticos, as cargas e os pigmentos.

Cada um tem uma função determinada. Assim, os lubrificantes facilitam o fluxo do material durante o processamento, impedindo que ele "grude" nos componentes do equipamento. Os estabilizantes retardam a degradação provocada pelo calor do processamento e pela luz ultravioleta (UV). Os plastificantes, geralmente líquidos, aumentam a flexibilidade, facilitando o processamento. Os retardadores de chama são incorporados aos plásticos por questão de segurança, para impedi-los de pegar fogo, propagar chama e fumaça. Os agentes antiestáticos impedem a criação ou o armazenamento de eletricidade estática nas peças e produtos fabricados de termoplásticos.

As cargas são substâncias incorporadas a um material base, mas que não solubilizam nem reagem com ele. O objetivo dessa adição é diminuir o custo do material ou aumentar algumas propriedades definidas e conferir-lhe características especiais. Talco e caulim são as cargas usadas com maior freqüência.

Os pigmentos são substâncias orgânicas e inorgânicas que conferem cor ao material a fim de melhorar seu aspecto. Eles são naturais, quando obtidos pela moagem de minerais como a sílica e o óxido de ferro. Ou sintéticos, como os óxidos e os cromatos, que são produzidos através de reações químicas. Estes elementos de adição são incorporados ao material plástico mecanicamente por meio de máquinas extrusoras, calandras ou por misturadores do tipo Banbury.

Para parar e estudar

Os aditivos são importantes substâncias agregadas às resinas plásticas antes do processamento para que eles adquiram certas

características. Essa é uma informação importante. Estude esta parte da lição com atenção e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

Escreva **F** ou **V** conforme sejam falsas ou verdadeiras as alternativas a seguir:

5. Com relação aos aditivos agregados às resinas plásticas antes do processamento apresentam

- **a)** ( ) baixo peso.
- **b)** ( ) alta condutividade térmica e elétrica.
- **c)** ( ) alta resistência à corrosão.
- **d)** ( ) facilidade de conformação.
- **e)** ( ) alto coeficiente de atrito.
- **f)** ( ) boa resistência às soluções salinas e ácidas.
- **g)** ( ) boa aparência.

6. Resolva as seguintes questões:

- **a)** Cite ao menos três substâncias que são acrescentadas a um plástico para eliminar, diminuir ou aumentar as propriedades desse material.
- **b)** Descreva a função dos lubrificantes (1), estabilizantes (2) e retardadores de chama (3) que são acrescentados aos plásticos.

  1. ....

  2. ....

  3. ....
- **c)** Por que as cargas são incorporadas ao plástico?
- **d)** Quais são as cargas usadas com mais freqüência?
- **e)** O que são pigmentos? Dê exemplos.

O plástico e o ambiente

O plástico tem muitas qualidades, mas também alguns defeitos: baixa resistência mecânica e ao calor, pouca estabilidade dimensional, alto coeficiente de dilatação, dificuldade de ser reparado

quando danificado. Seu maior defeito, porém, parece ser o fato de que a maioria dos plásticos não é biodegradável, ou seja, a natureza, com a luz e o calor do sol, não consegue transformá-lo em uma substância que ela possa absorver. O plástico, portanto, não desaparece como a madeira que, quando apodrece, é absorvida pela terra.

Assim, os objetos de plástico que você joga fora e que vão para os depósitos de lixo, ou que se espalham de maneira pouco civilizada na grama dos parques, das praças ou nas areias das praias se acumulam e poluem o meio ambiente. A reciclagem é um modo de reaproveitar e controlar a quantidade de material plástico lançado na natureza. Reciclando garrafas e embalagens, por exemplo, novos produtos são fabricados sem a produção de mais material plástico, tão agressivo ao meio ambiente. Mas, o ideal seria a utilização de plásticos biodegradáveis. As pesquisas para isso estão avançadas, porém esbarram no fator econômico: enquanto o material plástico não biodegradável for mais barato, não haverá espaço para um outro material com as mesmas características e que não polua o meio ambiente.

Para parar e estudar

Por esse motivo e por enquanto, muita pressão deve ser feita para que a maior quantidade possível de material plástico seja reciclado. A ordem é proteger o meio ambiente.

Exercícios

7. Esta manchete saiu no jornal **Folha de S. Paulo**. Comente a iniciativa do fabricante do jeans. Ela é benéfica? Por quê?

Empresa lança jeans de plástico reciclado

Produto chega ao mercado em abril

Avalie o que você aprendeu

8. Preencha as lacunas das afirmativas abaixo com a alternativa correta.

a) A “invenção” ou surgimento dos plásticos ocorreu a partir de uma necessidade de mercado e aconteceu por volta de .... embora só tenha sido industrializado com sucesso em ....

b) Após várias tentativas e experiências, obteve-se um material .... ao qual se deu o nome de ....

c) Vários setores da indústria foram beneficiados com as inúmeras .... dos materiais ....

d) Para a obtenção da maioria dos materiais ...., utilizam-se matérias-primas básicas cuja origem é .... ou sintética.

e) A estrutura do plástico é formada por cadeias de .... de grande peso molecular chamadas ....

f) Entre os processos de obtenção dos plásticos destacam-se as moldagens por .... e por ....

g) Os dois grandes grupos de que se compõe a imensa variedade de produtos de plástico são chamados de .... ou ...., dependendo da reação das resinas em relação ao calor.

Alternativas

1. macromoléculas, polímeros;

2. moldável, “celulóide”;

3. 1809, 1909;

4. compressão, extrusão;

5. aplicações, plásticos;

6. termofixos, termoplásticos;

7. 1870, 1909;

8. plásticos sintéticos;

9. termoplásticos, termoquímicos;

10. plásticos, natural.

9. Selecione as alternativas que completam corretamente as sentenças a seguir.

a) Os lubrificantes, estabilizantes e oxidantes, são alguns exemplos, entre outros, de .... acrescentados aos materiais plásticos para aumentar determinada propriedade.

Alternativas

1. cargas;

2. pigmentos;

3. aditivos;

4. detergentes.

b) As substâncias orgânicas e inorgânicas que conferem ao material cores para melhorar seu aspecto são chamadas de ....

Alternativas

1. lubrificantes;

2. pigmentos;

3. fixadores;

4. estabilizantes.

c) Entre muitas qualidades, o plástico apresenta também algumas deficiências, como por exemplo: ....
....
....

Alternativas

1. alta resistência mecânica e ao calor; muita estabilidade dimensional; baixo coeficiente de dilatação; facilidade para reparar.

2. alta resistência mecânica e ao calor; pouca estabilidade dimensional; alto coeficiente de dilatação; facilidade para reparar.

3. baixa resistência mecânica e ao calor; pouca estabilidade dimensional; alto coeficiente de dilatação; dificuldade para reparar.

10. Escreva **V** ou **F** conforme as afirmativas a seguir sejam verdadeiras ou falsas.

a) ( ) O plástico não é biodegradável, pois a natureza não consegue absorvê-lo.

b) ( ) A forma de controlar a quantidade de material não biodegradável na natureza é através da reutilização e da reciclagem.

c) ( ) A utilização de plásticos biodegradáveis esbarra no fator econômico, pois enquanto esse material for mais barato, será difícil resolver o problema da poluição ambiental causada pelo material plástico.

d) ( ) A maior quantidade possível de material plástico deve ser reciclado para proteger o meio ambiente.

11. Reescreva corretamente as sentenças que você assinalou **F**.

Gabarito

1. **a)** V **b)** V

c) F (O baquelite, uma massa esférica cor de âmbar, cuja superfície era uma impressão exata do fundo do recipiente, foi obtida em uma autoclave à temperatura de 200ºC. Assim surgiu o primeiro plástico sintético.)

d) V **e)** V

2. **a)** polímeros

b) plastômeros

c) manômeros

d) carbono - hidrogênio

e) propeno - etileno - polimerização

f) copolimeros

g) extrusão - injeção - usinagem

h) grosso - lisos - rebarbas

i) barras - placas - chapas finas

j) estampos - conformados

3. **a)** sintético **b)** natural **c)** natural

d) sintético **e)** natural **f)** sintético

4. **a)** TMP **b)** TMF **c)** TMF
d) TMF **e)** TMF **f)** TMP

5. **a)** V **b)** V **c)** V **d)** V
e) F **f)** V **g)** V

6. **a)** Lubrificantes, antioxidantes, estabilizantes.

b) **(1) Lubrificantes** - facilitar o fluxo do material durante o processamento.

(2) Estabilizantes - proteger o material contra a degradação provocada pelo calor e pela luz ultravioleta.

(3) Retardadores de chama - são incorporados aos plásticos por questão de segurança, para impedi-los de pegar fogo, propagar chama e fumaça.

c) Para diminuir o custo do material ou aumentar algumas propriedades definidas e conferir-lhes características especiais.

d) Talco e caulim.

e) São substâncias orgânicas e inorgânicas que conferem cor ao material, a fim de melhorar seu aspecto, como por exemplo: sintéticos, como os óxidos e os cromatos, produzidos por reações químicas.

7. Alguém da iniciativa privada e com bom senso pensou racionalmente no que se refere ao ambiente, pois conseguiu pôr em prática uma idéia que só virá beneficiar aos consumidores, utilizando material reciclável.

8. **a)** 1870 - 1909 **b)** moldável - celulóide
c) aplicações - plásticos **d)** plásticos - natural
e) macromoléculas - polímeros **f)** compressão - extrusão
g) termofixos - termoplásticos

9. **a)** 3 **b)** 2 **c)** 3

10. **a)** V **b)** V **c)** F **d)** V

11. Enquanto o material plástico não biodegradável for mais barato, não haverá espaço para outro material, com as mesmas características e que não polua o meio ambiente.

Sempre que pensamos em conjuntos mecânicos, os materiais a eles relacionados e de que mais nos lembramos são, em geral, os materiais metálicos. Por isso, pode ser que você esteja até estranhando um pouco o fato de ter que estudar um capítulo inteirinho sobre um material como a borracha.

No entanto, essa estranheza só pode ser fruto de sua distração. Porque é muito difícil encontrar uma máquina que não tenha borracha para transmitir movimento, unir partes, conduzir fluidos, absorver choques, isolar ruídos. Afinal, de que são feitas as correias, os acoplamentos, os tubos, as guarnições?

Graças às suas propriedades físicas e químicas, a borracha é capaz de desempenhar com muita eficiência todas essas funções dentro das máquinas e equipamentos que nos cercam. Sem falar na fabricação de luvas cirúrgicas, balões de festa, calçados, pneus e... camisinhas.

Esta aula vai ensinar a você algumas das razões pelas quais a borracha é tão importante para a nossa vida e para a indústria mecânica. Acompanhe conosco.

Um pouco de história

A borracha é um material de origem vegetal obtido do látex da seiva de uma árvore chamada *Hevea brasiliensis*. Essa árvore, nativa das florestas tropicais, é a nossa seringueira, encontrada em estado selvagem na Amazônia. Até a segunda metade do

século XIX, o Brasil teve o monopólio da produção mundial da borracha. Em 1876, um contrabando levou 70.000 sementes para a Inglaterra, onde elas foram cultivadas em estufas e depois plantadas na Ásia. Após alguns anos, grandes plantações começaram a produzir em escala comercial. O Brasil, por explorar apenas as plantas nativas, perdeu o monopólio.

Embora tenha sido sempre utilizada por índios da América do Sul na vedação de canoas, na impermeabilização de objetos e na confecção de bolas para jogar, a borracha só foi descoberta pelos europeus em 1736. Porém, essa descoberta foi considerada de pouco valor, pois a borracha natural é mole e pegajosa quando aquecida e dura e quebradiça quando fria. Nessa condição, o único uso encontrado para ela, foi a substituição do miolo de pão para apagar traços de lápis.

Foi somente em 1839, mais de um século depois, que Charles Goodyear descobriu, ao acaso, um modo de tornar a borracha menos rígida e quebradiça. Ele deixou cair acidentalmente uma mistura de borracha e enxofre sobre a chapa quente do fogão. A mistura pegou fogo e começou a soltar muita fumaça. Para se livrar dela, Goodyear atirou-a pela janela. No dia seguinte, descobriu que o material que ele atirara pela janela, se tornara flexível. Estava descoberta a vulcanização.

O uso de aceleradores de vulcanização e de antioxidantes ajudou a melhorar as propriedades da borracha natural, mas as pesquisas em busca de borrachas sintéticas levaram à descoberta do Neopreno (1931) nos Estados Unidos e da Buna (1936) na Alemanha. Como sempre, as necessidades de mercado determinaram o rumo das pesquisas e novos produtos surgiram. Mas, isso é outra história, que fica para a próxima parte da aula.

Para parar e estudar

A primeira parte da aula tem informações interessantes. Dê uma paradinha, leia tudo novamente e faça o exercício a seguir.

Exercício

1. Responda as seguintes perguntas:.
   a) O que é a borracha?
   b) Como os índios da América usavam a borracha?
   c) Quais são os inconvenientes que a borracha natural apresenta?
   d) Como a borracha pode se tornar menos rígida e quebradiça?

Há borrachas e... borrachas

Até aqui aprendemos que a borracha é um material de origem vegetal. Mas, você sabe como ela é obtida? Não? Então, vamos lá.

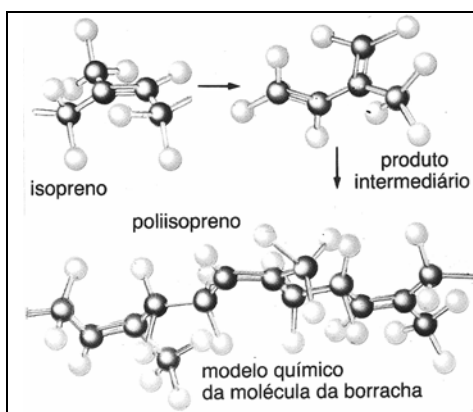
A borracha bruta é obtida do látex que é uma emulsão natural retirada por meio de um corte oblíquo feito na casca de uma árvore (como a Hevea brasiliensis, lembra?). O látex é recolhido em um recipiente preso no tronco logo abaixo do corte.

O látex colhido, depois de coado para a retirada de folhas, gravetos e insetos, é derramado em tanques divididos por pare-

des de metal. Lá, ele é coagulado pela adição de ácido acético diluído. O que se obtém dessa operação, é uma massa esponjosa que, em seguida, é laminada entre dois cilindros que giram com velocidades iguais debaixo de água. As folhas de borracha que saem dessa laminação, se depois forem passadas entre cilindros girando em velocidades diferentes, transformam-se no que chamamos de borracha-crepe. Depois, esse material pode ser defumado para evitar que fermente ou mofe. Por fim, essas lâminas de borracha são prensadas em grandes blocos e enviadas para as indústrias onde se transformarão em produtos acabados.

Fique por dentro

Os seringueiros que trabalham na extração do látex das árvores no meio da floresta tropical, geralmente deixam que o látex se coagule naturalmente. Depois, formam bolas em torno de um bastão. Essas bolas são então lavadas, secas e defumadas.

Essa borracha, na verdade um hidrocarboneto cuja fórmula é (C_5H_8), é um produto da polimerização do isopreno.

Ela é elástica, resistente à abrasão, à eletricidade e à água, porém altera-se em presença de luz e calor, além de não ter resistência a muitos óleos e solventes. A vulcanização, que é um tratamento por enxofre (2 a 4%) a quente (110ºC), realizado sob pressão ou em estufas, torna-a mais elástica e praticamente insolúvel.

Não existem artigos feitos de borracha pura. A câmara de ar que se coloca dentro de pneus tem 90% de borracha. Os pneus, cuja

borracha recebe adição de negro de fumo para aumentar sua resistência à abrasão, têm 60% de borracha. Outros produtos, como os solados de borracha, contêm 30% ou menos. Na verdade, ela é misturada com a borracha sintética para a fabricação dos mais diversos produtos.

Para parar e estudar

Nesta segunda parte da aula vimos como a borracha é obtida. Vale a pena retornar ao texto e estudar um pouco. Depois, é só fazer o exercício.

Exercício

2. Complete as seguintes sentenças sobre a obtenção da borracha.

a) O látex é uma .... natural recolhida em um recipiente preso ao tronco de árvores como ....

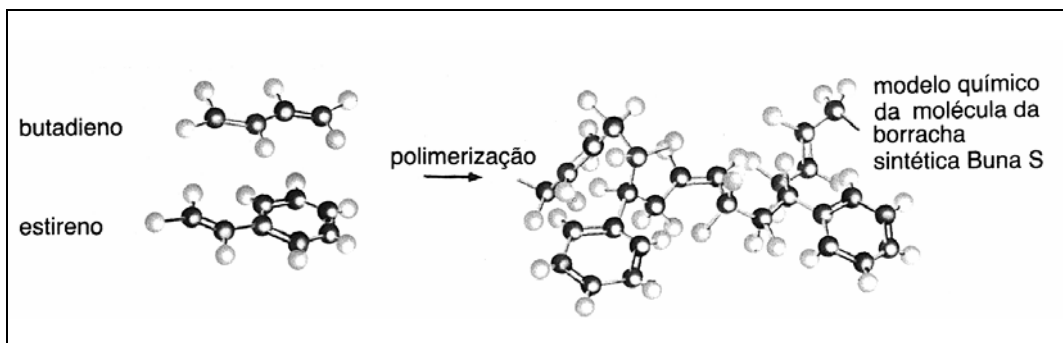
b) O látex colhido é coado e depois .... em tanques pela adição de .... diluído.

c) A massa esponjosa que resulta da coagulação é .... duas vezes. Na primeira laminação são obtidas folhas de borracha. Após a segunda, obtém-se ....

d) Depois da laminação, o material pode ser .... para ser protegido contra .... e ....

e) O sringueiro que extrai o látex no meio da floresta, geralmente deixa que .... se .... naturalmente.

Borrachas sintéticas: por quê? Para quê?

Já que a borracha sintética foi mencionada na segunda parte desta aula, com certeza vem a pergunta: “Por que mesmo elas foram criadas?” A resposta é fácil: para tentar obter um material que melhorasse as propriedades que a borracha já tinha, e para tentar afastar as incertezas dos mercados fornecedores de borracha natural.

Dois países entraram nessa corrida na década de 30: a Alemanha, que se preparava para a guerra e os Estados Unidos, que perceberam a incerteza a que o fornecimento de borracha natural estava sujeito em caso de guerra, uma vez que a maioria dos produtores estava no sudeste da Ásia.

Assim, em 1931 os alemães desenvolveram as borrachas conhecidas como Buna-S, um copolímero de estireno-butadieno e Buna-N, um copolímero de butadieno-acrilonitrila. Já na metade dessa década (1936), empresas americanas desenvolveram pesquisas para obter um produto com propriedades superiores às da borracha natural. Esses produtos foram as borrachas nitrílicas (Buna-N) e as butílicas (copolímeros de isobutileno-isopreno).

Fique por dentro

Os SBRs, ou copolímeros de estireno-butadieno, combinados na proporção de 75% de butadieno e 25% de estireno, são as borrachas sintéticas mais comuns no mercado.

As borrachas sintéticas, também chamadas de elastômeros sintéticos, têm as mesmas propriedades das borrachas naturais, ou seja, elasticidade, possibilidade de vulcanização, solubilidade em solventes, resistência à água, à eletricidade e à abrasão. Por outro lado, apresentam melhor desempenho quanto à durabilidade e à resistência a óleos, ao calor e à luz. O quadro a seguir apresenta algumas borrachas sintéticas, suas vantagens e desvantagens em relação à borracha natural e suas aplicações. Leia-o com atenção.

Tipo	Vantagens	Limitações	Aplicações
Borracha de poli-isopreno	Propriedades iguais ou superiores às da borracha natural	Facilidade limitadas de fabricação e processamento	Pneus para automóveis e caminhões
Butadieno-estireno (SBR)	Propriedades semelhantes às da borracha natural Amplas facilidades de produção	Um pouco inferior à borracha natural em resistência à tração e ao desgaste	Combinações com a borracha natural, pneus; correias; mangueiras; solas; tapetes
Copolímeros de butadieno-acrilonitrila (Nitrila)	Maior resistência a óleos e solventes	Menor resistência à tração	Diafragmas para carburador; tanques de combustíveis; mangueiras para gasolina e óleo
Polímeros de clorobutadieno (Cloropreno e Neopreno)	Alta resistência ao calor, à luz, a óleos e a produtos químicos. Boa resistência elétrica.	Não é processado como a borracha natural	Mangueiras e guarnições para óleo em temperaturas altas; pneus para serviços pesados
Copolímeros de isobutileno (Borrachas butil)	Excepcional impermeabilidade a gases; elevada resistência à abrasão, ao calor, à luz e aos ácidos; durabilidade	Dura quando fria. Queima com facilidade.	Tubos internos; mangueiras e diafragmas para vapor; máscaras contra gases; isolação elétrica; câmaras de ar
Poli-sulfetos (Thiokol)	Excelente resistência a óleos e solventes. Boa resistência química.	Baixa resistência à tração à abrasão e à chama.	Vedação em equipamentos para refinaria e campos de petróleo; guarnições; diafragmas, discos de sede de válvulas.
Poliacrílicos (Borracha acrílicas; Hycar)	Excelente resistência a óleos, solventes e ácidos. Suporta temperaturas altas.	Baixa resistência à abrasão e à tração. Alto custo	Tubos para a passagem de óleo quente; aparelhos para a indústria química; guarnições para automóveis
Borrachas de silicone (Polysiloxane)	Suporte temperaturas de trabalho entre 150 a 260°C. É elástica até -38°C.	Baixa resistência à tração, rasgamento e abrasão. Não é compatível com a borracha. Custo elevado.	Cobertura de fios e cabos; guarnições e tubos para condições extremas; partes de aviões; mísseis e naves espaciais..

Adaptado de: Processo de Fabricação e Materiais para Engenheiros, por Doyle, Lawrence E. e outros, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1962

A borracha não é usada comumente como material de construção mecânica, mas para aplicações especiais decorrentes de suas propriedades únicas: a elasticidade e a capacidade de retornar quase que totalmente à forma inicial. Na Mecânica, isso significa o uso para absorção de choques e isolação de vibrações; correção de desalinhamentos por meio dos acoplamentos flexíveis; mudança de condução por meio de tubos e correias; borrachas hidráulicas.

Natural ou sintética, a borracha mantém seu papel único dentro da indústria mecânica. Só para lembrar da importância desse material, pense nos milhões de correias, transmitindo movimento em milhões de máquinas por este Brasil afora...

Para parar e estudar

Quando comparada com a borracha natural, a borracha sintética tem algumas vantagens que você viu nesta última parte da aula. Vamos estudar um pouco sobre ela? Então releia esta parte com atenção porque a aula tem umas palavras difíceis. Em seguida, faça o exercício que propomos.

Exercícios

3. Combine os elementos da coluna A (tipos de borrachas sintéticas) com os elementos da coluna B (aplicações).

Coluna A

a) ( ) Poli-sulfetos (Thiokol).
b) ( ) Poliacrílicos.
c) ( ) Copolímeros de butadieno-acrilo-nitrila.
d) ( ) SBR.
e) ( ) Copolímeros de isobutadieno.

Coluna B

1. Diafragma para carburador.
2. Mangueiras e guarnições para óleo em alta temperatura.
3. Guarnições para automóvel
4. Vedação em equipamentos para refinarias.
5. Câmaras de ar.
6. Pneus.
7. Correias.

4. Escreva as vantagens de cada borracha sintética listada no exercício anterior.

O que fazer com tanto pneu velho?

“O Brasil produz 32 milhões de pneus por ano. Quase um terço disso é exportado para 85 países e o restante roda nos veículos nacionais. Apesar do alto índice de recauchutagem (reciclagem dos pneus para reaproveitamento) que prolonga a vida dos pneus em 40%, a maior parte deles, já desgastada pelo uso, acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas e até no quintal das casas, onde acumulam água que atrai transmissores de doenças.”

O parágrafo anterior foi retirado de um boletim da CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), uma organização do Rio de Janeiro, comentando os problemas que os pneus velhos trazem para o ambiente.

Segundo esse mesmo boletim, no Rio de Janeiro, o impacto dos pneus velhos no lixo urbano é da ordem de 0,5%. Nos Estados Unidos, eles correspondem a 1% desse lixo. E, pode crer, isso dá um bocado de pneus compondo verdadeiros “cemitérios” que, no mínimo, enfeiam a paisagem.

Apesar desses problemas, há algumas maneiras de diminuí-los. A primeira delas é a reutilização por meio de recauchutagem (ou recapagem), bastante conhecida em nosso país. Os pneus velhos também podem ser usados como pára-choques em ancoradouros ou em pistas de corrida; para formar recifes e aumentar a produtividade da indústria pesqueira; como combustível de fornos com o devido controle da poluição por gases. Para se ter uma idéia da economia que essa queima traz, basta dizer que cada pneu equivale, em capacidade combustível, a 9,4 litros de petróleo

A segunda maneira é a da reciclagem propriamente dita. Com essa tecnologia, já bastante avançada e disponível no Brasil, é

possível, por meio da trituração dos pneus, do uso de solventes para separar o tecido e o aço e da adição de óleos aromáticos, obter um produto reciclado com a elasticidade e resistência semelhantes ao material virgem. Esse material serve para a fabricação de tapetes para automóveis, solados de sapatos, pisos industriais e borrachas de vedação, entre outros.

Além disso, o pó gerado na recauchutagem e os restos dos pneus moídos podem ser aplicados na composição de asfalto de melhor elasticidade e durabilidade. Esses mesmos resíduos (pedaços de 5 cm) podem ser usados para ajudar na aeração, ou seja, na ventilação de compostos orgânicos para enriquecimento do solo. Essas partículas, após cumprirem sua função, devem ser retiradas do adubo antes da comercialização.

Como você pode perceber, embora o que fazer com pneus velhos seja um problema, há maneiras de diminui-lo, contribuindo para a economia do país.

Para parar e estudar

Poluição é assunto sério, não é mesmo? Releia o que escrevemos sobre o assunto desta aula. Pense um pouco sobre isso e converse com seus amigos. Depois, faça o exercício a seguir.

Exercícios

5. Comente a seguinte afirmação: “10% das 300 mil toneladas de sucata disponíveis no Brasil para obtenção de borracha regenerada são de fato recicladas, segundo dados da empresa Relastomer”. (CEMPRE. Ficha técnica – 8. Rio de Janeiro, s.d.)

Avalie o que você aprendeu

Este é um teste para você mesmo avaliar o quanto aprendeu desta aula. Por isso, estude-a inteirinha antes de fazê-lo.

6. Escreva **V** ou **F** conforme as afirmações a seguir sejam verdadeiras ou falsas.

a) ( ) A borracha é um material sintético obtido do látex da seiva de uma árvore nativa das florestas temperadas.

b) ( ) Até a segunda metade do século XIX, o Brasil tinha o monopólio mundial da produção de borracha natural.

c) ( ) Os europeus logo de início perceberam muitas aplicações para a borracha.

d) ( ) A borracha natural é mole e pegajosa quando aquecida e dura e quebradiça quando fria.

e) ( ) A vulcanização é um processo que facilita a utilização da borracha natural.

f) ( ) Elasticidade, resistência à abrasão, à eletricidade e à água são propriedades da borracha natural.

g) ( ) Depois de vulcanizada, a borracha natural fica praticamente insolúvel.

h) ( ) Existem muitos artigos feitos de borracha pura.

i) ( ) A borracha sintética foi criada não só para melhorar as propriedades da borracha natural, mas também para livrar países como a Alemanha e os Estados Unidos da dependência dos mercados produtores de borracha natural.

j) ( ) Os copolímeros de estireno-butadieno, ou SBRs, são uma combinação de 25% de butadieno e 75% de estireno.

7. Reescreva corretamente as sentenças que você assinalou **F**.

Gabarito

1. a) A borracha é um material de origem vegetal obtido do látex da seiva de uma árvore chamada *Hevea brasiliensis*.

b) Na vedação de canoas, na impermeabilização de objetos e na confecção de bolas para jogar.

c) É mole, pegajosa quando aquecida e quando fria, é dura e quebradiça.
d) Por meio da vulcanização.

2. a) emulsão - *Hevea brasiliensis*
b) coagulado - ácido acético
c) laminada - borracha crepe
d) defumado - fermentação - mofo
e) látex - coagule

3. a) 4 b) 3 c) 1
d) 6, 7 e) 2

4.

Borrachas sintéticas	Vantagens
Poli-sulfetos (Thiokol)	Superior é da borracha natural
Poliacrílicos	Excelente resistência a óleos e solventes. Boa resistência química
Copolímeros de butadieno-acrílico-nitrila	Maior resistência a óleos e solventes
SBR	Propriedades semelhantes às da borracha natural. Amplas facilidades de produção
Copolímeros de isobutileno	Excepcional impermeabilidade a gases; elevada resistência abrasão, ao calor, à luz e aos ácidos; durabilidade

5. Comentário - há dois tipos de conseqüências: 90% desse material é deixado no ambiente (poluição) e deixa de ser reutilizado (desperdício de energia e matéria-prima).

6. a) V f) V
b) V g) V
c) F h) F
d) V i) V
e) V j) F

7. c) A borracha só foi descoberta em 1736, pelos europeus, porém, sua vulcanização ocorreu em 1839.
h) Não existem artigos feitos de borracha pura.

j) Os copolímeros de estireno-butadieno, ou SBRs, são uma combinação de 75% de butadieno e 25% de estireno.

De todos os materiais, a cerâmica é aquele que acompanha o homem há mais tempo. Quando o homem saiu das cavernas e se tornou agricultor há milhares de anos, essa nova atividade trouxe novas necessidades. Para tomar conta de sua plantação, ele necessitava de um abrigo permanente junto à terra cultivada. Precisava também de vasilhas para guardar os alimentos colhidos e as sementes da próxima safra. Essas vasilhas tinham que ser resistentes e impermeáveis à umidade e à invasão de insetos. Essas qualidades foram encontradas na argila, que era o principal material cerâmico usado naquele tempo.

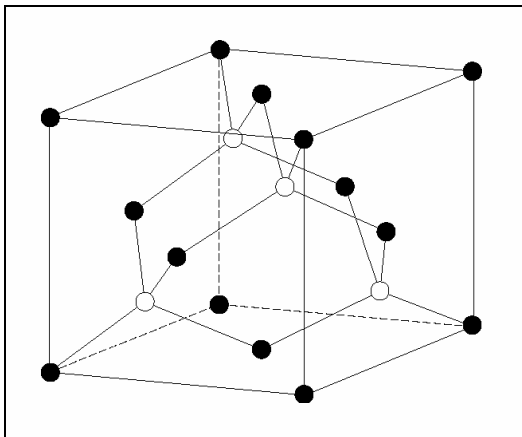
A capacidade da argila de ser moldada, quando misturada à proporção certa de água, e de endurecer após a queima, permitiu que ela fosse utilizada na construção de casas, na fabricação de vasilhames para uso doméstico e armazenamento de alimentos, vinhos, óleos e perfumes, na construção de urnas funerárias e até como suporte para a escrita. Todos esses usos são tão importantes que a Arqueologia, que é a ciência que estuda a pré-história do homem, é em grande parte baseada no estudo dos fragmentos das vasilhas cerâmicas.

Inicialmente secos ao sol, depois em fornos abertos (por volta do ano 1000 a.C.) e posteriormente em fornos fechados (cerca de 500 a.C.), os produtos cerâmicos foram evoluindo com o homem e, à medida que ele dominava a tecnologia da queima dos combustíveis e dos materiais, esses produtos foram se tornando mais e mais sofisticados para atender às necessidades da indústria elétrica, química, siderúrgica, ótica e mecânica. Desse

modo, eles podem estar tanto na sua cozinha, quanto no ônibus espacial Colúmbia.

Nesta aula, você vai conhecer um pouquinho esse material e como, pouco a pouco, ele está se firmando na indústria mecânica como o material do futuro. Para isso, vamos falar sobre as matérias-primas, a estrutura, as propriedades e a utilização dos produtos cerâmicos, principalmente na indústria mecânica.

Afinal, o que é a cerâmica?

Existem muitas definições para explicar o que é um material cerâmico. Vamos tentar dar essa explicação sem usar muito "tecnologês". Nos textos que a gente pesquisou, a definição mais simples encontrada foi: "Materiais cerâmicos são materiais não-metálicos, inorgânicos, cuja estrutura, após queima em altas temperaturas, apresenta-se inteira ou parcialmente cristalizada". Isso quer dizer que, depois que o material é queimado no forno, os átomos da sua estrutura ficam arrumados de forma simétrica e repetida de tal modo que parecem pequenos cristais, uns juntos dos outros.

Essa característica da estrutura, ou seja, a cristalização, confere ao material cerâmico propriedades físicas como a refratariedade, a condutividade térmica, a resistência ao choque térmico, a resistência ao ataque de produtos químicos, a resistência à tração e à compressão e a dureza, que é muito importante para a utilização na Mecânica.

Isso permite que os produtos de cerâmica sejam usados tanto para a louça doméstica quanto para a construção civil, como material refratário de altos-fornos e ferramentas de corte em máquinas-ferramentas.

E quais são as matérias-primas que, após o processamento adequado, adquirem essas propriedades? Primeiro, é preciso esclarecer que isso depende do uso que o produto vai ter. Assim, se você quiser fabricar louça doméstica, material sanitário ou material de laboratório para a indústria química, por exemplo, terá que usar argila, caulim, quartzo e feldspato, misturados em diferentes proporções e queimados em temperaturas entre 1.000ºC e 1.300ºC, de acordo com o produto a ser fabricado.

Se for necessária a fabricação de um material refratário, você terá de usar argilas refratárias, caulim, diásporo, bauxita, cianita, silimanita, corindon, quartzito etc. nas proporções adequadas e queimados a temperaturas entre 1.400ºC e 1.700ºC.

Se você quiser ainda cerâmicas para usos muito especiais, chamadas de cerâmicas avançadas, terá que utilizar matérias-primas sintéticas (como o nitreto cúbico de boro, a alumina, a zircônia ou o carbeto de silício) de alta pureza obtidas sob condições controladas, para produzir, por exemplo, materiais para ferramentas de corte.

O quadro a seguir foi organizado para você ter uma visão geral de algumas matérias-primas e produtos cerâmicos, bem como algumas de suas propriedades.

Matéria-prima	Designação	Temp. de queima	Propriedades	Produtos
Argila	Louça de barro Faiança e Majólica	800 a 1.000°C 900 a 1.000°C	Baixa/média resistência mecânica	Vasos, filtros, cerâmica artística
Argila, caulim, feldspa-to, quartzo	Pó de pedra Porcelana Grês branco	1.100 a 1.250°C 1.300 a 1.400°C 1.250 a 1.300°C	Baixa/média resistência mecânica. Elevada resistência mecânica. Resistência mecânica muito elevada.	Louça doméstica. Material p/laboratórios químicos. Material sanitário
Argilas refratárias, caulim	Silício-aluminoso	1.200 a 1450°C	Resistência a temperaturas de até 1.400°C. Baixa resistência à escória básica.	Tijolos ou peças refratárias de uso geral.
Diásporo, Bauxita, Cianita, Silimanita, Corindon	Aluminoso	1.400 a 1700°C	Resistência a temperaturas de até 1.785°C. Maior resistência à escória básica e ácida.	Tijolos e peças refratárias de uso geral.
Quartzito	Sílica	1.450°C	Resistência a temperaturas entre 1.680°C e 1.700°C. Resistência a escórias ácidas	Refratários para a construção de abóbadas de fornos.

As propriedades dos materiais cerâmicos dependem da quantida-de e do arranjo de três fases: cristalina, vítrea e porosa.

A fase cristalina, que pode ser uma ou mais de uma, é o modo como os átomos, moléculas e íons se organizam dentro de um material de maneira fixa, regular e repetitiva. Ela é responsável pela estabilidade e pela densidade do material e está presente nos minerais naturais. Nos produtos cerâmicos, as reações ocorridas durante a queima destroem as estruturas cristalinas naturais e reagrupam essas estruturas, formando novas, que são responsáveis pelo desempenho do produto.

A fase vítrea dá certas características e propriedades ao corpo cerâmico. Ela funciona mais ou menos como o cimento na construção civil: age como ligante das fases cristalinas sólidas, da mesma forma como o cimento une as pedras no concreto. Ela confere resistência mecânica à peça quando em temperatura ambiente. Promove também a translucidez (no caso da porcelana). E, finalmente aumenta a tendência à deformação quando o produto é exposto a altas temperaturas. Isso é extremamente indesejável nos produtos refratários, ou seja, aqueles que precisam resistir a altas temperaturas, porque a fase vítrea se torna fluida abaixo de 1.000ºC causando deformação no produto. Nas cerâmicas avançadas para ferramentas de corte, as fases vítreas causam a diminuição da dureza, que é uma propriedade fundamental para essa aplicação.

A fase porosa é o espaço vazio entre os grãos sólidos, ou dentro dos grãos sólidos, que formam o material cerâmico. Essa fase pode ser aberta ou fechada. Ela é aberta quando deixa um caminho aberto até a superfície e permite a absorção de água, gases etc. Ela é fechada quando está fechada dentro de um grão ou cercada de grãos por todos os lados. O ar fica preso lá dentro e impede a passagem do calor. Isso torna o material cerâmico um isolante térmico.

Parece que já é hora de dar uma paradinha, certo? Vamos lá, então.

Para parar e estudar

Esta primeira parte da aula apresentou um material que você nem suspeitava que tivesse ligações com a indústria mecânica. Pare e estude um pouco sobre ele. Use os exercícios a seguir para ajudá-lo.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

- **a)** O que é um material cerâmico?
- **b)** Cite algumas propriedades do material cerâmico.
- **c)** Cite três produtos feitos com material cerâmico.
- **d)** O que é a fase cristalina?
- **e)** Qual a importância da fase cristalina para um material cerâmico?
- **f)** O que a fase vítrea dá ao produto cerâmico?

2. Combine a coluna de matéria-prima (**A**) com a coluna de produtos (**B**):

Coluna A	**Coluna B**
a) ( ) Argilas refratárias, caulim.	**1.** Louça doméstica.
b) ( ) Nitreto cúbico de boro.	**2.** Ferramentas de corte.
c) ( ) Quartzito.	**3.** Tijolos ou peças refratárias de uso geral.
d) ( ) Argila, caulim, quartzo e feldspato.	**4.** Cerâmica artística.
e) ( ) Argila.	**5.** Vasos.
	6. Sanitários.

Como se faz um produto cerâmico?

Continuando a pesquisa em busca de informações para você sobre os materiais cerâmicos, chegamos aos processos de fabricação. Não custa lembrar que os produtos cerâmicos são obtidos pela secagem e queima de materiais argilosos. As argilas, por sua vez, compreendem o conjunto de minerais compostos, principalmente dos silicatos de alumínio hidratado, que possuem a propriedade de formarem com a água uma massa plástica, que conserva a forma moldada e endurece sob a ação do calor. Dos

minerais argilosos, que são muitos, somente a caulinita e a ilita têm valor econômico para a fabricação de produtos cerâmicos.

A não ser que você deseje fabricar um produto muito especial, geralmente, esses materiais argilosos são processados nas seguintes etapas:

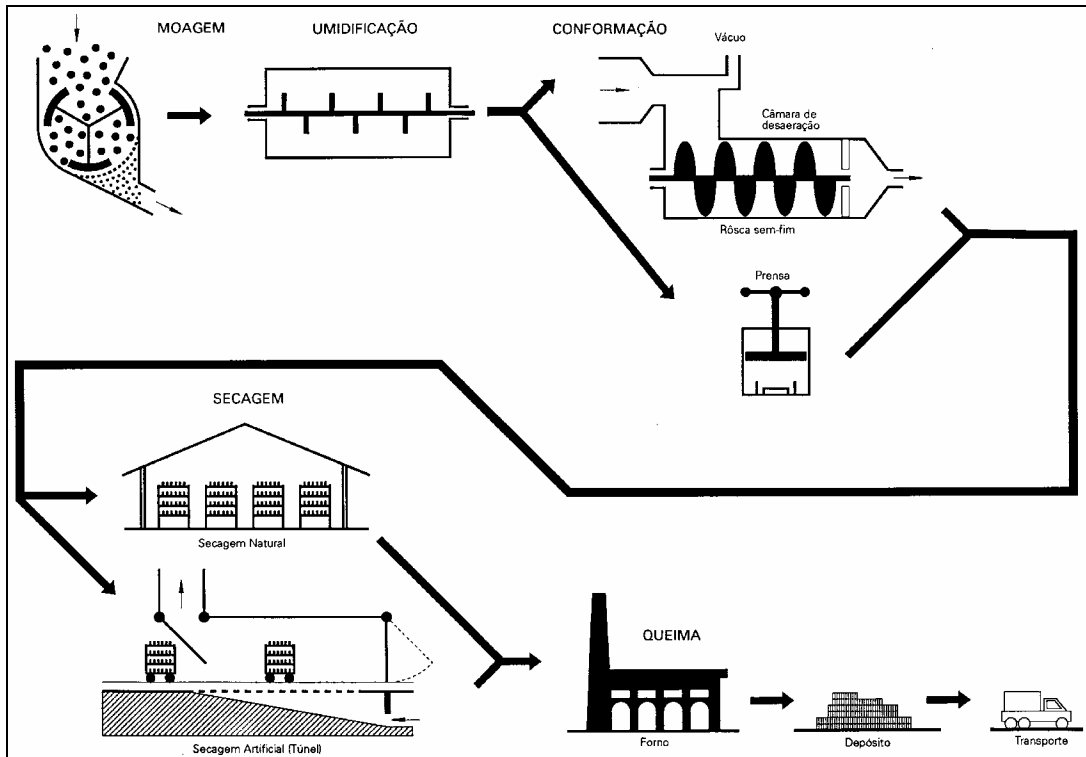
1. Mistura, onde as matérias-primas previamente tratadas e dosadas são homogeneizadas, ou seja, misturadas de forma homogênea.

2. Moagem, na qual o material é moído para reduzir o tamanho dos grãos até diâmetros máximos inferiores a 0,074 mm. Isso dá ao material a aparência de um pó bem fino. Para a fabricação de produtos refratários, os grãos são mais grossos.

3. Umidificação, com acréscimo de água para formar a massa cerâmica. A quantidade é determinada pelo método de conformação que será empregado.

4. Conformação, onde as peças são produzidas por vários métodos: colagem, torneamento, extrusão, prensagem ou injeção.

5. Secagem, que pode ser natural ou artificial, na qual grande parte da água livre (umidade superficial) é evaporada.

6. Queima, cuja temperatura é definida em função da composição química da mistura e na qual o aumento de temperatura causa as seguintes reações: desidratação, calcinação (decomposição química pelo calor), oxidação (ligação de um elemento químico com o oxigênio da atmosfera do forno) e formação de silicatos. Estas reações promovem transformações que geram sólidos cristalinos e vítreos (não cristalinos) com a textura adequada para desenvolver as propriedades desejadas. O conjunto dessas modificações promovidas pelo calor, é chamado de sinterização. Todo esse processo é representado esquematicamente na ilustração a seguir. Observe.

O que você deve observar nesse processo, é a importância do calor para que o produto cerâmico tenha garantidas as propriedades que o caracterizam. Isso é muito importante.

Para parar e estudar

Estude esta segunda parte da aula e faça o exercício a seguir.

Exercício

3. Responda:

a) Por que a queima é tão importante no processo de fabricação de um produto cerâmico?

b) O que é sinterização?

Motor de cerâmica? Como pode?!

Mesmo que você não tivesse lido as duas primeiras partes da aula, com certeza seria capaz de citar vários produtos feitos de

cerâmica porque eles são muito comuns em nossa vida. A gente até pode construir casas sem tijolos, telhas, pisos, azulejos, sanitários, mas ela certamente não será tão confortável, nem tão bonita e muito menos tão fácil de manter limpa.

Mas se a gente disser os termos **cerâmicas avançadas**, a coisa vai ficar um pouco mais complicada. Embora esse tipo de produto já tenha sido citado nesta lição, você provavelmente terá dificuldades de lembrar nomes de produtos além dos já citados.

Para acabar com o suspense, podemos dizer que essa expressão define produtos cerâmicos manufaturados a partir de matérias-primas puras, normalmente sintéticas e conformadas por processos especiais, sinterizadas em condições rigidamente controladas a fim de apresentarem propriedades superiores. A fase cristalina desses produtos se desenvolve na obtenção da matéria-prima. A fase vítrea é quase inexistente e a queima do produto tem unicamente a finalidade de aglomerar, isto é, juntar, as partículas cristalinas. Nessa fase, ocorre uma reação que solda os grãos entre si. Isso acontece por um processo de difusão dos elementos químicos que constituem o grão.

Acredite se quiser

O ônibus espacial Colúmbia usa 24.192 placas de cerâmica térmica como revestimento protetor contra as altas temperaturas. Estas são decorrentes do atrito da nave, em alta velocidade, com a atmosfera. Cada placa é feita individualmente e não há duas iguais em toda a nave.

Para você ter uma idéia da abrangência de utilização das cerâmicas avançadas, montamos o quadro a seguir com as matérias-primas, aplicações, propriedades e produtos deste tipo de material.

Matéria-prima	Aplicação	Propriedades	Produtos
Óxido de ferro; carbonato de bário e de estrôncio; titanato de bário	Cerâmicas elétricas e magnéticas	Magnetismo, dieletricidade, piezoeletricidade, semicondutividade.	Capacitores; geradores de faísca; semicondutores; eletrólitos sólidos; ferritas; ímãs; varistores e termistores.
Alumina Zircônia	Cerâmicas químicas e eletroquímicas	Capacidade de adsorção; resistência à corrosão; catálise.	Suportes de catalisadores; sensores de gases; eletrólitos sólidos.
Alumina Vidro de sílica	Cerâmicas óticas	Condensação ótica; translucidez; fluorescência; condução de luz.	Lâmpada de descarga elétrica de vapor de sódio; memórias óticas; cabos óticos; diodo emissor de luz; polarizadores.
Alumina Zircônia	Cerâmicas térmicas	Condutividade térmica; isolação térmica; refratariedade; absorção de calor; resistência ao choque térmico.	Radiadores de infravermelho; isolantes térmicos; refratários; eletrodos de zircônia-ytria para controle de oxigênio na fabricação do aço.
Alumina	Cerâmicas Biológicas	Biocompatibilidade	Implantes para substituir dentes, ossos, juntas.
Zircônia Alumina Carbeto de boro	Cerâmicas nucleares	Resistência à corrosão, às altas temperaturas e à radiação; refratariedade	Materiais para blindagem; revestimento de reatores
Carbeto de boro Carbeto de silício Nitreto de silício Alumina Zircônia	Cerâmicas mecânicas e termomecânicas	Alta resistência mecânica e à abrasão; baixa expansão térmica e alta resistência ao choque térmico; capacidade de lubrificação; elevado ponto de fusão; elevada condutividade térmica.	Ferramentas de corte; esferas e cilindros para moagem; bicos de maçaricos; acendedores para caldeiras; pás de turbina para alta velocidade; anéis de vedação de bombas d’água; rotores.
Zircônia Alumina Nitreto de silício	Cermetes	Alta resistência à compressão, à deformação plástica e ao desgaste; alta dureza e grande estabilidade química.	Pontas de ferramentas de corte e furadeiras; pastilhas de freio.

Esse quadro resume bem as utilizações das cerâmicas avançadas. Mas, vamos nos deter um pouco mais nas possibilidades de aplicação que esses materiais trazem para a indústria mecânica. Nos últimos quinze anos houve um grande avanço no desenvolvi-

mento de materiais cerâmicos para ferramentas. Esses materiais apresentam elevada dureza, resistência ao desgaste, à deformação plástica e alta estabilidade química. Atualmente, esses materiais representam cerca de 4 a 5% do material usado nas pontas das ferramentas para o corte de metais. São usadas na indústria automobilística, principalmente para a usinagem em alta velocidade de ferro fundido cinzento, na produção de tambores e discos de freio e volantes. São usadas também para a usinagem em alta velocidade de superligas de ferro fundido especial e aços de alta resistência.

No que diz respeito à indústria automobilística, os materiais cerâmicos têm sido alvo de grande interesse. Muito dinheiro tem sido investido no desenvolvimento de componentes de motores feitos de materiais cerâmicos. As vantagens são inegáveis: redução de volume e peso (25% menos pesado que um motor de metal); dispensa refrigeração porque pode trabalhar a temperaturas de até 800ºC; apresenta melhor aproveitamento do combustível e maior eficiência do motor em termos de potência; não causa poluição.

Essas vantagens decorrentes das excelentes propriedades das cerâmicas avançadas, abrem um amplo campo de aplicações para a fabricação de blocos de motores, virabrequins, válvulas, pistões, cilindros, cabeçotes, sistemas de exaustão, câmaras de pré-combustão, mancais, cabeças de pistões. Todavia, parece que um dos problemas mais críticos a serem contornados é o controle da tolerância: nos componentes dos motores, elas variam entre 10 e 300 mícrons. As peças de cerâmica, por sua vez, apresentam alta dureza o que dificulta muito a usinagem. Para evitá-la, é preciso produzir peças mais próximas das medidas finais, o que significa controlar estreitamente a retração causada pela sinterização.

Outro problema da cerâmica avançada é a fragilidade. Ao receber um choque, ela não se deforma como o metal. Pelo contrário, rompe-se de forma catastrófica. Você já imaginou usar um motor que corre o risco de se quebrar inteiro em um acidente de trânsito?

De qualquer modo, as pesquisas continuam e vários programas de testes com válvulas cerâmicas de nitreto de silício (Si3N4), que são

mais leves e mais resistentes que o aço, estão demonstrando a alta durabilidade que esse material pode alcançar. Outra aplicação potencial em motores a gasolina é como rotor turbo-alimentador: a fábrica japonesa Nissan introduziu, com sucesso, os rotores de nitreto de silício em um de seus modelos do ano de 1985.

Anéis de vedação de bombas d'água feitos de carboneto de silício apresentam maior resistência ao desgaste, a choques e à corrosão que os materiais de vedação convencionais. Atualmente, na Europa, mais de um milhão desses anéis estão sendo usados.

Uma vez superadas as dificuldades atuais de processamento (baixa tenacidade e conseqüente baixa resistência à fratura), os materiais cerâmicos abrem uma perspectiva muito interessante para se tornar um dos mais usados na indústria mecânica, particularmente a automobilística, no século XXI. É um casamento de futuro, ou não é?

Para parar e estudar

Nesta última parte da aula falamos das cerâmicas avançadas. Preparamos alguns exercícios para ajudar você a estudar o assunto.

Exercícios

4. Escreva **V** para as afirmações verdadeiras e **F** para as falsas.

a) ( ) Os materiais cerâmicos são usados atualmente para produzir ferramentas de corte para usinagem em baixa velocidade.

b) ( ) Um dos maiores problemas para a utilização da cerâmica avançada na construção de motores de veículos é sua fragilidade.

c) ( ) A cerâmica avançada deve ser usada na construção de partes para equipamentos que devem trabalhar em regimes de altas temperaturas.

d) ( ) Um motor feito de cerâmica tem menor volume e menor peso, dispensa refrigeração e economiza combustível.

5. Com base no que você estudou nesta última parte da aula, comente o trecho a seguir, retirado da página 14 da revista **Dirigente** Industrial de julho de 1988: “A antropologia (ciência que estuda a evolução do homem) ensina que o homem iniciou sua evolução lapidando a pedra. Depois, fundiu o metal e, mais recentemente, processou o plástico. O próximo estágio, para alguns estudiosos, será uma espécie de retorno às origens: o homem passará a explorar as ilimitadas potencialidades da cerâmica”.

6. “Já é comum no Japão, Estados Unidos e Alemanha, médicos implantarem próteses de biocerâmica que, além de mais leves, são mais resistentes que alguns dos elementos artificiais normalmente utilizados**”.** (**Dirigente Industrial**, julho de 1988, pág. 18) Este trecho cita duas propriedades que a biocerâmica tem. Quais são elas? Com base no que você estudou, que outra propriedade a biocerâmica tem **necessariamente**?

Avalie o que você aprendeu

Agora estude toda a aula novamente e faça o teste a seguir.

7. O trecho a seguir foi retirado do livro **Materiais para a Indústria Automobilística** de Carlos Bottrel Coutinho (pág. 398). Leia-o e responda à pergunta que apresentamos abaixo:
“Em motores diesel experimentais, as cerâmicas são usadas em camisas de cilindro, pistões, pinos de êmbolo, câmaras de combustão e revestimentos. Estes motores ... operam eficientemente com sistemas de resfriamento menores do que os convencionais. ... É pouco provável, contudo, que qualquer destas aplicações entre em produção industrial antes do final do século”.

Com base no que você estudou nesta aula, comente a utilização da cerâmica no motor diesel e tente justificar porque essas aplicações só entrarão em produção industrial no próximo século.

Gabarito

1. **a)** É um material não-metálico, inorgânico, cuja estrutura, após queima em altas temperaturas, apresenta-se inteira ou parcialmente cristalizada.
b) Refratariedade, condutividade térmica, resistência ao choque térmico, resistência à tração etc.
c) Louça doméstica, louça sanitária, rebolo etc.
d) É o modo como os átomos, moléculas e íons se organizam dentro de um material, de maneira fixa, regular e repetitiva.
e) Ela é responsável pela estabilidade e densidade do material e está presente nos minerais naturais.
f) Há certas características e propriedades ao corpo cerâmico: confere resistência mecânica à peça, quando em temperatura ambiente, por exemplo.

2. **a)** 3 **b)** 2 **c)** 6
d) 1 **e)** 4

3. **a)** Porque promove transformações que geram sólidos cristalinos a vítreos (não cristalinos), com a textura adequada para desenvolver as propriedades desejadas.
b) É o conjunto das seguintes modificações: desidratação, calcinação (decomposição química pelo calor), oxidação e formação de silicatos.

4. **a)** F **b)** V
c) V **d)** V

6. São mais leves e mais resistentes e, por suas características, são apropriadas para implantes de ossos, juntas e substituição de dentes.

7. - As probabilidades de uso industrial somente serão possíveis, após superadas as dificuldades de processamento como a baixa tenacidade e conseqüente baixa resistência à fratura. Deve-se, ainda, considerar o controle da retração causada pela sinterização.

Quando falamos sobre atrito, dissemos que ele é prejudicial em conjuntos mecânicos porque traz como conseqüência o aumento da temperatura, o desgaste da superfície, a liberação de partículas, a predisposição à corrosão e a micro-soldagem a frio.

Das conseqüências que acabamos de listar, o desgaste da superfície, dependendo do que se quer fazer, é não só útil mas necessário. Nada de espanto! Se você está ligado, deve se lembrar também de que, a certa altura daquela aula, dissemos que o atrito pode ser benéfico em alguns tipos de operações mecânicas. São as operações de retificação e acabamento. Nelas, o mecânico retira o material sob a forma de cavacos, exatamente como nas outras operações de usinagem. A diferença está no fato de que esses cavacos são tão pequenos que só podemos observá-los com lentes de aumento. Isso permite obter um acabamento muito melhor e manter tolerâncias muito mais estreitas, mesmo em materiais extremamente duros.

Nesta aula, vamos estudar os materiais que realizam essas operações. São os abrasivos, em muitos casos parecidos com as pedras de amolar que todo o mundo conhece.

Usando o atrito para trabalhar os materiais

Será que você sabe o que é um abrasivo? É fácil. Vamos voltar um pouco no tempo e lembrar da época em que não havia panelas de alumínio polido ou esmaltado, com o interior recoberto de resinas antiaderentes. Aço inoxidável na cozinha, então, nem

se fale! Era um tempo em que nossas mães, muito caprichosas, esmeravam-se em manter suas panelas, talheres e torneiras brilhando. E você consegue se lembrar ao menos de um dos materiais que sua mãe usava para deixar tudo polido como espelho?

O que podemos lhe garantir é que ele ainda hoje é encontrado nas prateleiras dos supermercados. E então, já se lembrou? Isso mesmo: o sapóleo. Ele vinha em barras que sua mãe raspava para obter um pó que era esfregado sobre a panela que ela queria “arear”.

Se você pegar um pouco de sapóleo e passar em uma superfície de aço inoxidável, por exemplo, o que acontecerá? Quanto mais grossos forem os grãos, mais riscos ou marcas você terá na superfície, certo? Isso significa que o atrito desses grãozinhos (na verdade, minúsculos grãos de areia) com a superfície do metal retirou do aço uma camada invisível de sua superfície, daí a presença dos riscos. Esses grãozinhos fazem parte de uma família de materiais que têm essa capacidade, ou seja, retirar camadas de um material por meio do atrito. Eles são chamados de abrasivos.

Na mecânica, as ferramentas de corte feitas de materiais abrasivos são usadas para trabalhar todos os materiais e metais desde os mais macios até os mais duros. É impossível imaginar a indústria mecânica sem as ferramentas abrasivas. Os abrasivos de que elas são fabricadas podem ser usados sob a forma de pós, grãos soltos, rebolos, barras e placas de diferentes formas e dimensões.

Nas operações executadas com o auxílio desses materiais, o atrito do abrasivo com a peça retira quantidades variadas de material, dependendo do resultado que se quer obter. Grãos mais grossos retiram mais material. Por outro lado, quanto mais fino for o grão do abrasivo, mais fino e polido será o acabamento obtido.

De um rolamento de agulhas a um motor de caminhão, do brinquedo de plástico à faca de cozinha, praticamente todos os produtos à sua volta sofreram uma operação de usinagem por abrasivos durante o processo de fabricação. Daí, a importância desse material e, por conseqüência, do assunto desta aula.

Para parar e estudar

Até aqui a aula está bem fácil. Mesmo assim, volte um bocadinho, releia tudo e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

1. Responda:

a) O atrito pode trazer algumas conseqüências para um conjunto mecânico em funcionamento. Quais são elas?

b) Você pode usar o atrito, em seu benefício, em algumas operações mecânicas. Quais são elas e qual o resultado que se obtém nessas operações?

c) O que é um abrasivo?

d) Cite ao menos dois produtos abrasivos que você tem na cozinha de sua casa.

2. Sublinhe a palavra que completa corretamente as seguintes afirmações:

a) A superfície de uma chapa de aço inoxidável trabalhada com abrasivos terá (mais - menos) riscos se o grão abrasivo for mais grosso e (mole - duro).

b) As ferramentas de corte feitas de materiais (plásticos - abrasivos) servem para trabalhar todos os tipos de materi-

ais, desde os mais (duros - macios) até os mais (duros - macios).

c) Os abrasivos podem ser usados sob a forma de pós, (pedaços - grãos) soltos, rebolos, barras e placas de diferentes (formatos - espécies) e tamanhos.

d) Dependendo do tipo de trabalho a ser executado, quanto mais (fino - grosso) for o grão abrasivo, mais material será retirado. Inversamente, quanto mais (fino - grosso) for o grão, mais fino e polido será o acabamento.

O que usar como abrasivo?

Provavelmente o homem usa abrasivos desde que começou a usar metais e pedras preciosas para fazer jóias e se enfeitar. Para polir as pedras preciosas, os joalheiros usavam pó de diamante, esmeril e areia de trípole. Talvez ele usasse também areia bem fina que, misturada com algum aglomerante, formava uma pasta para polir os metais das jóias que fabricava.

Hoje em dia, os abrasivos naturais compreendem basicamente materiais de origem cerâmica como o corindon, o quartzo e a sílica, além do diamante (que não é um material cerâmico). O corindon, na verdade um óxido de alumínio (Al_2O_3) com 90% de pureza, é o mais conhecido abrasivo natural. A presença de impurezas piora suas propriedades. O diamante, por sua vez, é o mais duro dos abrasivos naturais, sendo usado para afiar ferramentas desgastadas. O uso dos diamantes artificiais também está cada vez mais comum para o mesmo tipo de aplicação.

Os abrasivos sintéticos também são de origem cerâmica. São eles: o eletrocorindon (normal e branco), com até 95% de óxido de alumínio, obtido por fusão elétrica a partir da alumina pura; o carboneto de silício negro ou verde (SiC), comumente chamado de carborundum e formado por uma combinação química de silício com carbono obtida a temperaturas entre 2.200ºC e 2.300ºC. O último é o carbeto de boro com até 95% de carbeto de boro cristalino. Esses abrasivos são usados principalmente para

afiar ferramentas de corte ou polir e dar acabamento final a estampos, matrizes e gabaritos.

Todos os abrasivos sintéticos são processados a quente e saem do forno em forma de pedaços maciços, que são depois moídos em grãos com arestas ou cantos agudos. São esses cantos que dão ao material abrasivo sua capacidade de cortar outros materiais.

O tamanho de cada grão determina a classificação da capacidade de corte do abrasivo, seja ele natural ou sintético. Olhando os dois lados de uma lixa de unha, você pode entender mais facilmente do que estamos falando: o lado com grãos mais grossos desbasta a sua unha mais rapidamente, enquanto o lado mais fino dá um acabamento melhor, deixando a unha mais lisa. Assim, dá para perceber que o tamanho do grão e sua dureza, juntamente com o formato da ferramenta e o tipo de aglomerante, ou seja, uma espécie de cola que gruda os grãos uns nos outros, determinam a utilização da ferramenta abrasiva.

Para formar essas ferramentas, os grãos abrasivos podem ser unidos por meio de um material aglomerante na forma de uma liga cerâmica, uma resina ou um metal. Por esse processo, você fabrica uma ferramenta chamada rebolo. Esse tipo de ferramenta é usada na retificação cilíndrica em superfície plana e paralela; na eliminação de rebarbas e na afiação de ferramentas.

Outras ferramentas de corte possuem pontas feitas com óxido de alumínio que podem ser unidas por meio de um processo de prensagem a frio seguido de sinterização ou por uma única operação de prensagem a quente. Essas ferramentas têm alta resistência ao desgaste e à deformação em temperaturas altas. Por isso, essas ferramentas podem cortar durante mais tempo, com velocidades de corte maiores. O problema é que, por sua fragilidade, elas têm uso restrito.

Os grãos abrasivos também podem ser ligados por meio de cola ou resina e aplicados sobre um suporte (papel, por exemplo) para

formar as lixas. Lixas que têm uma tela como suporte e óxido de alumínio como abrasivo são usadas para trabalhar metais.

Para parar e estudar

Nesta segunda parte da aula, foram resumidas as informações mais importantes sobre os abrasivos. Estude tudo com atenção, pois agora vamos para os exercícios.

Exercícios

3. Escreva **V** ou **F** conforme sejam verdadeiras ou falsas a afirmações a seguir. Em seguida, reescreva corretamente as sentenças que você considerou falsas.

a) ( ) Na Antigüidade, o homem usava pó de diamante, esmeril e areia de trípole para polir pedras preciosas.

b) ( ) Basicamente, os abrasivos naturais compreendem materiais de origem cerâmica como o diamante, a sílica e a argila.

c) ( ) O corindon é um óxido de alumínio (Al_2O_3) com 90% de pureza.

d) ( ) O diamante é o mais conhecido dos abrasivos naturais.

e) ( ) Raramente o diamante é usado para afiar ferramentas desgastadas.

f) ( ) Os abrasivos sintéticos são usados principalmente para afiar ferramentas de corte ou para polir e dar acabamento em estampos, matrizes e gabaritos.

4. Aqui temos uma lista com palavras e depois uma lista de sentenças com lacunas. Escolha as palavras que completam corretamente as lacunas.

1. Retificação - rebarbas - rebolo.

2. Abrasivos sintéticos - grãos - cantos.

3. Resistência - óxido de alumínio - fragilidade.

4. Material abrasivo - materiais - cantos.

5. Capacidade - abrasivo - grão.

6. Dureza - ferramenta - aglomerante.

a) Todos os .... são processados a quente e saem do forno na forma de pedaços maciços que são moídos posteriormente e transformados em .... com arestas e .... agudos.

b) O que dá ao .... sua capacidade de cortar outros .... são suas arestas e .... agudos.

c) O que determina a classificação da .... de corte do .... natural ou sintético é o tamanho do ....

d) O tamanho do grão e sua .... juntamente com o formato da .... e o tipo de .... determinam sua utilização.

e) Ferramentas utilizadas na .... cilíndrica em superfícies planas e paralelas, na afiação de ferramentas e na eliminação de .... são chamadas de ....

f) As ferramentas que têm alta .... ao desgaste e à deformação em altas temperaturas, possuem pontas feitas com ...., embora tenham uso restrito por sua ....

5. Relacione os abrasivos sintéticos de origem cerâmica com suas respectivas características:

Abrasivos sintéticos

a) ( ) Eletrocorindon

b) ( ) Carborundun

c) ( ) Carbeto de boro

Características

1. Formado por uma combinação química de silício com carbono, obtida a temperaturas entre 2.200ºC e 2.300ºC.

2. Constituído de carbono, tungstênio e cobalto.

3. Constituído de carboneto de potássio e tungstênio.

4. Obtido por fusão elétrica a partir da alumina pura.

Algumas propriedades dos materiais abrasivos

Você já estudou duas partes desta aula. Será que você é capaz de dizer por que os abrasivos são usados? Vamos refrescar sua memória: para cortar, retificar, rebarbar ou afiar em diferentes operações de usinagem. Só que para realizar essas tarefas, como qualquer outro material, o abrasivo tem que apresentar algumas características, algumas propriedades. Você pode imaginar quais são elas?

Os materiais usados como abrasivos podem fornecer a primeira pista. Para isso vamos lembrar um cuja característica principal com certeza você conhece. É o diamante. Ele é muito duro, não é mesmo? Pois bem, a primeira propriedade de um abrasivo é a dureza. Um abrasivo deve ser duro para poder penetrar e riscar o material sobre o qual vai se trabalhar. Quanto maior a diferença entre a dureza do abrasivo e do material a ser trabalhado, maior a eficiência do abrasivo. O carboneto de silício e o óxido de alumínio são consideravelmente mais duros que a maioria dos materiais e, portanto, são substâncias próprias para serem usadas como abrasivos.

Assim como as facas e as tesouras perdem o corte com o uso, os abrasivos tendem a se deteriorar devido ao achatamento dos grãos porque, com o atrito, os cantos deles ficam arredondados. Por isso, a capacidade desses grãos de cortarem outro material diminui bastante. Para manter essa capacidade de corte durante mais tempo, o abrasivo tem que ter tenacidade, ou seja, ele deve ser capaz de resistir à fratura.

Para permanecer com os cantos dos grãos vivos e afiados, o abrasivo também tem que apresentar resistência ao atrito. Essa capacidade está relacionada não só a sua dureza que já mencionamos, mas também à afinidade química entre o abrasivo e o material a ser desbastado, principalmente quando as pressões e as temperaturas são elevadas.

De qualquer modo, quando esses grãos abrasivos estão unidos em uma ferramenta como o rebolo, é necessário lembrar a importância do aglomerante. Assim, a dureza do rebolo, está

também relacionada à tenacidade com que a liga aglomerante mantém os grãos agrupados. Para usinar materiais brandos (macios) usam-se rebolos duros. Para usinar materiais duros, empregam-se rebolos brandos (macios), porque os grãos desgastados se desprendem facilmente, deixando descoberto novos grãos com arestas agudas.

Para finalizar a aula temos a seguir uma tabela resumindo o que falamos sobre os abrasivos.

Abrasivo	Nome comercial	Aplicações	Propriedades
Óxido de alumínio (Al_2O_3) Branco ou cinza	Corindon; eletrocorindon	Afiação de ferramentas. Usinagem de aço, fero forjado ou maleável. Usinagem de bronze laminado.	Dureza Tenacidade Resistência ao atrito
Carbeto de silício (SiC) Verde ou preto	Carborundum	Afiação de ferramentas de ligas duras (metal duro). Usinagem de ferro fundido, bronze, alumínio, latão, cobre	Dureza Baixa tenacidade
Diamante (natural ou artificial)	Diamante	Afiação de ferramentas	Elevada dureza

Aqui termina nossa aula e o curso sobre materiais usados na indústria mecânica. Esperamos que você tenha aprendido tudo o que tentamos ensinar. Não é muito, não é tudo. É apenas o começo. Para ser um bom profissional, a gente nunca deve parar de estudar e deixar de aprender. Por isso, sempre que possível, mantenha um constante contato com manuais, catálogos de fabricantes e livros sobre este assunto e outros mais que fazem parte da área da Mecânica.

Para parar e estudar

A aula já acabou, mas a sua tarefa, não. Falta estudar a última parte e fazer o exercício a seguir.

Exercícios

6. Responda.

a) Cite algumas aplicações para os abrasivos.

b) Quais são as três propriedades dos abrasivos? Cite-as e explique o que cada uma delas significa em relação ao abrasivo.

c) Explique com suas palavras por que os abrasivos perdem seu poder de corte.

d) Por que o carboneto de silício e o óxido de alumínio podem ser usados como abrasivos?

O último teste é para fazer você pensar.

Avalie o que você aprendeu

Países como os Estados Unidos, o Japão, a Alemanha, a Inglaterra, que estão na vanguarda do desenvolvimento industrial, também estão na vanguarda da produção e consumo de abrasivos... Isto nos leva ao primeiro axioma (afirmação verdadeira): o consumo de abrasivos será o índice para medir o desenvolvimento industrial de um país.

Fonte: Rebolos & Abrasivos, por Guillaume Nussbaum. São Paulo: Ícone, 1988, pág. 16

7. Com base naquilo que aprendeu nesta aula, você concorda com o trecho que acabamos de reproduzir? Por quê?

Gabarito

1. **a)** Aumento de temperatura, desgaste da superfície, liberação de partículas, micro-soldagem a frio etc.

b) Operações de retificação e acabamento, obtendo-se com isso uma qualidade melhor com tolerâncias mais precisas mesmo em materiais mais duros.

c) São pequenos grãozinhos que, por meio do atrito, são capazes de tirar camadas de um material. Esses grãos são chamados abrasivos.

d) Sapóleo e esponja de aço

2. **a)** mais - duro
b) abrasivo - duros - macios
c) grãos - formatos
d) grosso - fino

3. **a)** V
b) V
c) V
d) F (O diamante é o mais duro dos abrasivos naturais usado para afiar ferramentas desgastadas.)
e) V
f) V

4. **a)** 2 **b)** 4 **c)** 5
d) 6 **e)** 1 **f)** 3

5. **a)** 4 **b)** 1 **c)** 2

6. **a)** Usinagem de: bronze laminado; de aço; afiação de ferramentas; ferro fundido, etc.
b) Dureza, tenacidade e resistência ao atrito.
Dureza: penetra e desgasta o material a ser trabalhado.
Tenacidade: resistência a fratura.
Resistência ao atrito: resistência a pressões e temperaturas elevadas
c) Quando os grãos se desgastam pelo atrito, o abrasivo perde sua capacidade de corte, principalmente quando a escolha do abrasivo não é compatível com o material a ser desbastado.
d) Porque são consideravelmente mais duros que a maioria dos materiais.

7. Sim. Porque o uso de abrasivos é essencial para um número muito grande de operações de usinagem, indispensáveis aos processos de produção industrial da área de metal-mecânica.

Ferro Fundido maleável Preto													
Materiais ABNT						Classes Correspondentes em Normas de							
Classe NBR 6590	Propriedades Mecânicas (1)				Estru-tura Pre-domi-nante	Outras Entidades							
	Limite de Resist. Tração (mín.) MPa	Limite de Escoamento em 0,20 (mín.) MPa	Alonga-mento em 3d (mín.) %	Dureza Bri-nell Faixa aprox. HB		ISO		DN	ASTM			SAE
						R 493	R 944	1692	A 47	A 220	A 602	J 158a
FMP 30006	300	--	6	156 máx.	Ferrítica	Grade C	--	--	--	--	--	--
FMP 35012	350	200	12	156 máx.	Ferrítica	Grade B Grade A	--	GTS 35	32510	--	M 3210	M 3210
FMP 45007	450	300	7	149 - 207	Ferrítica Perlítica	--	Grade E	GTS 45	--	45006	M 4504	M 4504
FMP 50005	500	330	5	170 - 229	Perlítica	--	Grade D	--	--	50005	M 5003	M 5003
FMP 55005	550	360	5	187 -241	Perl. ou Mart. Rev.	--	Grade C	GTS 55	--	60004	M 5503	M 5503
FMP 65003	650	430	3	207 - 255	Perl. ou Mart. Rev.	--	Grade B	GTS 65	--	70003	M 7002	M 7002
FMP 70002	700	550	2	241 - 295	Perl. ou Mart. Rev.	--	Grade A	GTS 70	--	80002	--	--